

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-4-145-150
УДК 631.461

Н.З. Мурсалов (Государственный институт водных проблем, г. Баку,
Азербайджанская Республика)

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ БИОДЕГРАДАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЬЮ ПОЧВЕ

Nemat Z. Mursalov (State Research Institute of Water Problems, Baku,
Republic of Azerbaijan)

ABOUT DEVELOPMENT OF HYDROCARBON BIODEGRADATION ADAPTIVE SYSTEM IN OIL-POLLUTED SOIL

Введение

Биоремедиация является методом очищения морей и земель от нефтепродуктов с использованием для этого биологических агентов (микробов). Биоремедиация имеет такие виды, как фиторемедиация, микоремедиация, фитоэкстракция, фитостабилизация, фитотрансформация и др. Преимущество фиторемедиационных процессов заключается в том, что они значительно дешевле, а также позволяют трансформировать структуру загрязнителей таким образом, чтобы они могли включиться в природный цикл трансформации веществ в биосфере.

Цели и задачи

Разработка адаптивной системы биodeградации углеводородов в загрязненной нефтью почве.

Результаты

На основе известных результатов экспериментальных исследований по микробиологической ремедиации почвы осуществлена оптимизация процедуры ремедиации.

Предложен алгоритм адаптивной ремедиации загрязненной нефтью почвы с применением микробов.

Background

Bioremediation is a method of purification of the seas and lands from petroleum products using biological agents (microbes) for this. Bioremediation has such species as phytoremediation, mycoremediation, phytoextraction, phytostability, phytotransformation and others. The advantage of phytoremediation processes is that they are much cheaper and also allow transforming the structure of pollutants in such a way that they can engage in the natural cycle of substances transformation in the biosphere.

Aims and Objectives

Development of an adaptive system of biodegradation of hydrocarbons in oil polluted soil.

Results

Based on the well-known results of experimental studies on micro-biological soil remediation, a remediation procedure has been optimized.

An algorithm for adaptive remediation of oil-contaminated soil using microbes has been proposed.

Предложена блок-схема системы адаптивной биоремедиации. Показана возможность определения концентрации углеводородного загрязнителя почвы с помощью предложенной системы.

A block diagram of an adaptive bioremediation system is proposed. The possibility of determining hydrocarbons soil pollutant concentration using the proposed system is shown.

Ключевые слова: биodeградация; углеводороды; почва; адаптивная система; оптимизация

Key words: biodegradation; hydrocarbons; soil; adaptive system; optimization

Введение

Как отмечается в работе [1], сырая нефть является важным элементом мировой экономики. Вместе с тем, последствия всяких разливов нефти на морях и земле приводят к существенным экологическим бедствиям. Биоремедиация является методом очищения морей и земель от нефтепродуктов с использованием для этого биологических агентов (микробов). Биоремедиация имеет такие виды, как фиторемедиация, микоремедиация, фитоэкстракция, фитостабилизация, фитотрансформация и др. [2].

Согласно [3], преимущество фиторемедиационных процессов заключается в том, что они значительно дешевле, а также позволяют трансформировать структуру загрязнителей таким образом, чтобы они могли бы включиться в природный цикл трансформации веществ в биосфере. Как указывается в работе [4], меры, принятые в Индонезии по биоремедиации нефтяных загрязнений почвы, позволили выделить из каждого килограмма почвы 46 г нефтепродуктов. При этом добавление в этот процесс биосурфактантов позволило увеличить результативность с 46 % до 85 %. Согласно [5], для оптимизации биоремедиационных процессов необходимо

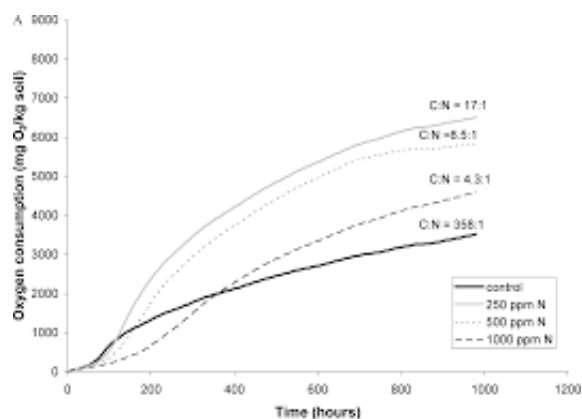
учесть влияние таких факторов, как температура, pH, количество нитратов и фосфатов.

В статье рассматривается влияние соотношения нитратов и фосфатов (N : P) на производительность процесса биodeградации углеводородов, а также исследуется возможность построения адаптивной системы биodeградирования углеводородов в почве.

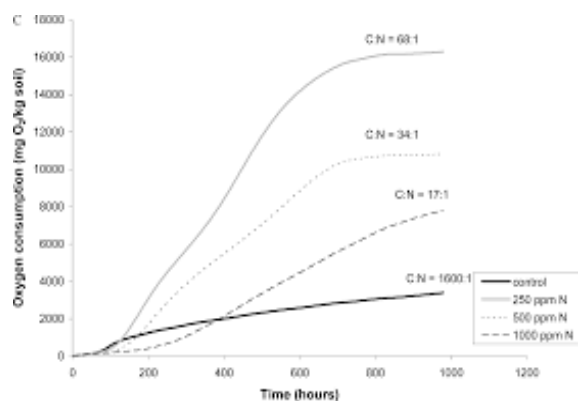
Обзор известных методов учета влияния отношения C/N на производительность биоремедиации

Как отмечается в работе [6], температура, равная 35 °C, и pH = 7 являются оптимальными для процессов деградации углеводородов с помощью микробов штамма «Pseudomonas strains». При этом эффективность процесса деградации может быть определена по оценке концентрации CO₂, количеству H₂O, а также по аккумуляции микробной биомассы. Правильное составление питательного баланса, в особенности таких элементов как N и P, позволяет повысить эффективность биodeградации путем выбора оптимального соотношения C : N : P.

Согласно [7], при концентрации N в почве 250 мг/кг формируется наивысший уровень потребления микробами O₂ (рисунок 1).



а)



б)

- а) при концентрации 5 г/кг (дизельное топливо / почва);
- б) при концентрации 10 г/кг (дизельное топливо / почва)

Рисунок 1. Зависимость потребляемого микробами кислорода от времени при различных концентрациях загрязнения почвы дизельным топливом

На рисунке 1 показаны кривые при концентрациях N: 250 ppm; 500 ppm; 1000 ppm, соответствующие следующим соотношениям C : N:

- 1) 17 : 1;
- 2) 85 : 1;
- 3) 43 : 1;
- 4) 358 : 1.

На рисунке 2 показана зависимость микробальной респираторной активности от значения отношения C : N при загрязнении

почвы дизельным топливом на уровне 5000, 1000, 2000 ppm [7].

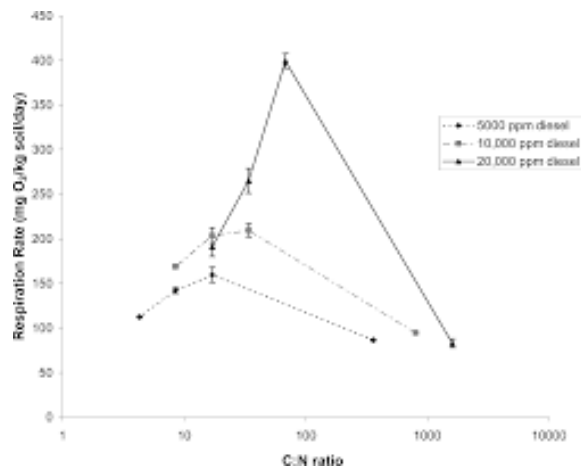


Рисунок 2. Зависимость потребляемого микробами O₂ от соотношения C : N при разных уровнях загрязнения почвы дизельным топливом [7]

Оптимизация биоремедиации загрязненной нефтью почвы с помощью микробов

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 3, характеристики респираторной активности микробов, используемых для деградации углеводородов, имеют следующие свойства.

1. Пик характеристик смещаются вправо по оси ln (C : N) с ростом концентрации углеводородного загрязнителя почвы.
2. Величина пика характеристик респираторной активности прямо пропорциональна концентрации углеводородного загрязнителя почвы.
3. С учетом логарифмического масштаба, указанного по оси абсцисс, респираторные кривые могут быть аппроксимированы логнормальной функцией.

С учетом вышеизложенного кривые респираторной активности будем аппроксимировать следующей функцией:

$$F(x, y) = B(y) \cdot e^{-[\ln x - \varphi(y)]^2}, \quad (1)$$

где x - величина отношения $C : N$;

y - концентрация углеводородного загрязнителя;

$B(y)$ - функция зависимости пика характеристики от концентрации загрязнителя;

$\varphi(y)$ - функция зависимости смещения пика от y .

В качестве критерия оптимизации биоремедиационного процесса выберем следующую интегральную оценку:

$$F_u(y, x) = \int_0^{X_m} B(y) e^{-[\ln x - \varphi(y)]^2} dx. \quad (2)$$

Для осуществления оптимизационной процедуры введем на рассмотрение следующую функцию:

$$X = X(Y). \quad (3)$$

С учетом (3) перепишем функционал (2):

$$F_u(y, x) = \int_0^{X_m} B(y) e^{-[\ln x(y) - \varphi(y)]^2} dx. \quad (3)$$

Исследуем функционал (3) на экстремум.

Согласно условиям уравнения Эйлера-Лагранжа, искомая оптимальная функция $y(x)$ должна удовлетворить условию

$$\frac{\partial \{B(y) e^{-[\ln x(y) - \varphi(y)]^2}\}}{\partial X(y)} = 0. \quad (4)$$

Из выражения (4) получаем следующее условие экстремума:

$$\ln x(y) = \varphi(y) \quad (5)$$

или

$$X(y) = e^{\varphi(y)}. \quad (6)$$

Можно показать, что критерий (3) при решении (6) достигает минимальной величины. Для этого достаточно взять вторую производную интегранта в (3) по $(y)x$ и убедиться, что она положительна.

Таким образом, для достижения оптимального режима биоремедиации необходимо обеспечить между переменными X и Y такую взаимосвязь, которая максимально отличается от функции (6).

Рассмотрим вопросы технической реализации системы адаптивной микробиальной ремедиации земель, загрязненных нефтяными углеводородами.

Предлагаемый принцип адаптивной микробиальной биоремедиации заключается в следующем.

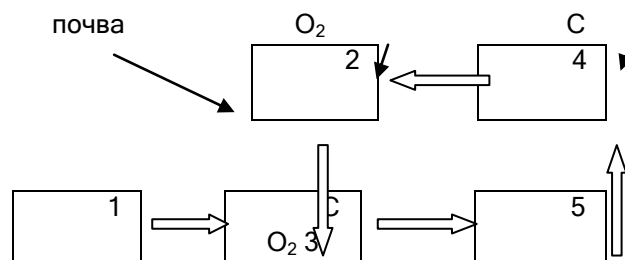
1. В качестве показателя микробиальной активности принимается концентрация CO_2 , формируемая в зоне ремедиации.

2. Технологическая установка, в которой осуществляется биоремедиация почвы, обеспечивает непрерывное увеличение отношения $C : N$.

3. По мере увеличения отношения $C : N$ осуществляется измерение биоремедиационной активности микробов, оцениваемой по величине концентрации CO_2 .

Измерения концентрации CO_2 может быть осуществлено в ИК диапазоне, на длинах волн 2,7 мкм или 15,0 мкм [8].

Блок-схема технологической установки для реализации адаптивной биоремедиации показана на рисунке 3.



- 1 - источник ИК излучения;
- 2 - реактор для проведения биоремедиации;
- 3 - кьювета, заполняемая CO_2 , вырабатываемого респирацией микробов;
- 4 - перекрываемый вентиль для внешней подачи углеводорода в реактор;
- 5 - детектор максимума концентрации CO_2 , вырабатываемого микробами

Рисунок 3. Блок-схема технологической установки для реализации адаптивного режима биоремедиации

Следует отметить, что технологическая установка, показанная на рисунке 3, также может работать в режиме определения концентрации загрязнителя в почве.

При этом *алгоритмическая последовательность проводимых операций имеет следующий вид.*

1. Микробиальная активность оценивается по величине концентрации CO_2 в зоне реактора.

2. При достижении концентрацией CO_2 максимума регистрируется отношение C : N в реакторе.

3. По измеренным значениям показателей x и концентрации CO_2 , используя кривые, аналогичные показанным на рисунке 2, где по оси ординат должна быть указана концентрация CO_2 , определяется концентрация углеводородного загрязнителя почвы.

Обсуждение и выводы

Таким образом, показано, что одним из основных показателей, определяющих эф-

фективность микробиальной ремедиации, является отношение C : N в реакторе.

При этом зависимость респираторной активности микробов от отношения C : N носит экстремальный характер, и в каждом случае экстремум смещается вправо в зависимости от концентрации углеводородного загрязнителя почвы.

Выводы

1. На основе известных результатов экспериментальных исследований по микробиальной ремедиации почвы осуществлена оптимизация процедуры ремедиации.

2. Предложен алгоритм адаптивной ремедиации загрязненной нефтью почвы с применением микробов.

Предложена блок-схема системы адаптивной биоремедиации.

3. Показана возможность определения концентрации углеводородного загрязнителя почвы с помощью предложенной системы.

Список литературы

1. Kareem B. Optimization of a Temperature Gradient-Based Oil Spillage Remediation System // *Int. J. Energy Environ. Eng.* 2014. No. 5:98. DOI: 10.1007/s40095-014-0098-0.
2. USEPA: Factsheet on Bioremediation in Oil Spill Response. 2012. URL: <http://home.eng.iastate.edu/tge/ce421-521/thehawkenator-pres.pdf>. (accessed 2.03.2014).
3. Karpenko O., Banya A., Baranov V., Novikov V., Kolwzan A. Influence of Biopreparations on Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soil // *Pol. J. Environ. Stud.* 2015. Vol. 24, No. 5. P. 2009-2015. DOI: 10.15244/pjoes/42672.
4. Helmy Q., Laksmono R., Kardena E. Bioremediation of Aged Petroleum Oil Contaminated Soil: from Laboratory Scale to Full Scale Application // *Procedia Chemistry*. 2015. No. 14. P. 326-333.
5. Liyanage G.Y., Manage P.M. Optimization of Environmental Factors on Oil Degrading Bacteria Isolated from Coastal Water and Sediments in Sri Lanka // *Journal of Tropical Forestry and Environment*. 2015. Vol. 5. No. 02. P. 13-25.
6. Qinqren Wang, Shoun Zang, Yuncong Li, Waldemar Klassen. Potential Approaches to Improving Biodegradation of Hydrocarbons for Bioremediations of Crude Oil Pollution // *Journal of Environmental Protection*. 2011. No. 2. P. 47-55. 21005 Pub-

References

1. Kareem B. Optimization of a Temperature Gradient-Based Oil Spillage Remediation System. *Int. J. Energy Environ. Eng.*, 2014, No. 5:98. DOI: 10.1007/s40095-014-0098-0.
2. USEPA: *Factsheet on Bioremediation in Oil Spill Response*. 2012. URL: <http://home.eng.iastate.edu/tge/ce421-521/thehawkenator-pres.pdf>. (accessed 2.03.2014).
3. Karpenko O., Banya A., Baranov V., Novikov V., Kolwzan A. Influence of Biopreparations on Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soil. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2015, Vol. 24, No. 5, pp. 2009-2015. DOI: 10.15244/pjoes/42672.
4. Helmy Q., Laksmono R., Kardena E. Bioremediation of Aged Petroleum Oil Contaminated Soil: from Laboratory Scale to Full Scale Application. *Procedia Chemistry*, 2015, No. 14, pp. 326-333.
5. Liyanage G.Y., Manage P.M. Optimization of Environmental Factors on Oil Degrading Bacteria Isolated from Coastal Water and Sediments in Sri Lanka. *Journal of Tropical Forestry and Environment*, 2015, Vol. 5, No. 02, pp. 13-25.
6. Qinqren Wang, Shoun Zang, Yuncong Li, Waldemar Klassen. Potential Approaches to Improving Biodegradation of Hydrocarbons for Bioremediations of Crude Oil Pollution. *Journal of Environmental Protection*, 2011, No. 2, pp. 47-55. 21005 Published

lished Online March 2011. DOI:10.4236/jep.2011.
(<http://www.SciRP.org/journal/jep>).

7. Walecka-Hutchison C.M., Walworth J.L. Assessment of C:N Ratios and Water Potential for Nitrogen for Optimization in Diesel Bioremediation // *Bioremediation Journal*. 2001. No. 10 (1-2). P. 25-35. DOI: 10.1080/10889860600857082.

8. CO₂ Absorption Spectrum. URL: <http://nov79.com/gbwm/ntyg/html>.

Online March 2011. DOI:10.4236/jep.2011.
(<http://www.SciRP.org/journal/jep>).

7. Walecka-Hutchison C.M., Walworth J.L. Assessment of C:N Ratios and Water Potential for Nitrogen for Optimization in Diesel Bioremediation. *Bioremediation Journal*, 2001, No. 10 (1-2), pp. 25-35. DOI: 10.1080/10889860600857082.

8. CO₂ Absorption Spectrum. URL: <http://nov79.com/gbwm/ntyg/html>.

Автор

• Мурсалов Немат Закир оглы
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
Инженер кафедры «Поиск и разведка
месторождений нефти и газа»
Докторант Государственного института водных
проблем
Азербайджанская Республика, AZ 1010, Баку,
пр. Азадлыг, 20
e-mail: Mursalovnemat@Mail.Ru

The Author

• Mursalov Nemat Z.
Azerbaijan State Oil and Industrial University
Engineer of Search and Survey of Oil and Gas
Deposits Department
Doctorant of State Research Institute
of Water Problems
20, Azadliq ave., Baku, Republic of Azerbaijan,
AZ 1010
e-mail: Mursalovnemat@mail.ru