

## ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА

А.Ю. Алексеев, Л.С. Адаменко, В.А. Забелин, А.Л. Макачук,  
А.М. Шестопапов

# БИОРЕМЕДИАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ТЕРРИТОРИЙ КАК ОСНОВА СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА СЕВЕРЕ СИБИРИ

УДК 581.524:502.3

Проведена оценка эффективности биоремедиации загрязненных нефтепродуктами территорий как основы системы мероприятий для улучшения среды обитания человека на севере Сибири. Были собраны образцы почв и пробы воды на территории деятельности нефтедобывающих предприятий на юге Ямало-Ненецкого автономного округа до и после очистки с помощью ассоциации микроорганизмов, способных разлагать нефть и нефтепродукты. Показано, что обработка загрязненных нефтью и нефтепродуктами участков препаратами на основе микроорганизмов-нефтедеструкторов приводит к снижению количества нефтепродуктов в среднем на  $56,64 \pm 18,82\%$ .

**Ключевые слова:** биоремедиация, нефтепродукты, микроорганизмы, север Сибири.

We assessed the effectiveness of bioremediation of oil-contaminated territories as the basis of a system of measures to improve the environment of human habitation in Northern Siberia. We collected soil and water samples on the territory of the activities of oil companies in the South of the Yamalo-Nenets Autonomous area before and after cleaning with the association of microorganisms capable of decomposing oil and oil products. It is shown that treatment of oil-contaminated and petroleum sites with preparations on the basis of oil destructor microorganisms leads to decrease of oil products on average  $56,64 \pm 18,82\%$ .

**Keywords:** bioremediation, petroleum products, microorganisms, the North of Siberia.

Север Сибири (северная часть Ханты-Мансийского автономного округа и Ямало-Ненецкий автономный округ) является территорией с ярко выраженной антропогенной нагрузкой, определенной массовой добычей природных ископаемых, в первую очередь газа, нефти и нефтегазоконденсата. Загрязнение окружающей среды, вызванное газо- и нефтедобычей, обусловлено как несовершенством самой технологии добычи, так и результатом аварийных ситуаций [7].

Известно, что общая токсичность нефти невысока, однако отдельные её компоненты (полиароматические и полициклические соединения) обладают высокой токсичностью, выраженными канцерогенными и тератогенными свойствами. Наиболее токсичными для живых организмов являются ароматические соединения, которые могут составлять до 10% от

сырой нефти. У жителей районов, где производится добыча нефти, чаще регистрируют снижение иммунитета, развитие аллергий, раковых опухолей, врожденных уродств и т.п. [15, 18]. Присутствие в почве или водоемах нефти оказывает неблагоприятное влияние на состояние здоровья птиц, рыб и млекопитающих [5]. При попадании капель сырой нефти в почву и воду низкомолекулярные фракции обычно испаряются в атмосферу. Н-алканы с длиной цепи C10-C16 и моноциклические ароматические углеводороды обычно подвергаются биodeградации микробиологической биотой. Однако высокомолекулярные компоненты, особенно алканы с длиной углеродной цепи более 20 и полициклические ароматические соединения, такие как нафталин, антрацен, фенантрен, хризен, бензапирен и т.д., и их алкилированные производные, сохраняются [19].

Проблема нефтяных загрязнений на сегодняшний день является одной из наиболее острых экологических проблем. По данным Гринпис и Минприроды, российские нефтяные компании теряют около 20 млн т нефти ежегодно (5% всей добычи). По данным центра «Антистихия» МЧС России [13], суммарная площадь загрязнений почв нефтью и нефтепродуктами по состоянию на конец 2015 г. на территории Российской Федерации составила 1025 га. Основными причинами загрязнения почв нефтепродуктами

являлись износ оборудования, аварии на транспорте и несанкционированные врезки.

Поверхностные загрязнения нефтью обычно сопровождаются загрязнением грунтовых вод [5, 10], что, в свою очередь, имеет негативные последствия для здоровья человека, животных и растений. Чистота питьевой воды и ее доступность являются одним из важнейших факторов, определяющих качество жизни. По оценкам экспертов, с плохим состоянием окружающей среды связано 20% всех заболеваний.

Следует отметить особую роль воды в распространении нефтяных загрязнений:

во-первых, происходит постоянное вымывание нефти и нефтепродуктов в открытые водоёмы и грунтовые воды, которые могут использоваться человеком для питья и других нужд;

во-вторых, эти загрязнения из надпочвенных, грунтовых вод и открытых водоёмов попадают в организмы животных и растений, употребляющих эту воду, а затем по пищевым цепочкам опять-таки могут попасть в организм человека.

Оказавшись в воде, органический загрязнитель быстро разносится по биосфере, и многие живые организмы на Земле оказываются вовлеченными во взаимодействие с нефтепродуктами. Важно отметить, что в их состав входят такие летучие соединения, как

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт экспериментальной и клинической медицины», г. Новосибирск: **АЛЕКСЕЕВ Александр Юрьевич** – к.м.н., с.н.с., AI-AlexOK@ngs.ru, **АДАМЕНКО Любовь Сергеевна** – м.н.с., aminisib@ngs.ru, **ШЕСТОПАЛОВ Александр Михайлович** – д.б.н., гл. н.с., руковод. лаб., shestopalov2@ngs.ru; **ЗАБЕЛИН Владимир Аркадьевич** – к.т.н., ген. директор АО «Биоойл», biooil2002@mail.ru; **МАКАРЧУК Александр Леонидович** – к.т.н., нач. отдела ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз», г. Ноябрьск, makharchuk@mail.ru.

бензол, толуол, ксилол; нафталины и полициклические ароматические углеводороды, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами.

Если вода является одним из самых важных элементов распространения нефтяных загрязнений, то почвы во многом определяют устойчивость биосферы и ее очищение от загрязняющих веществ [1, 8–11, 17]. Самоочищение почвы есть совокупность природных процессов, направленных на уменьшение содержания в ней загрязнителей веществ [6]. Оно обусловлено, прежде всего, способностью почвенных микроорганизмов разлагать широкий спектр природных и не-природных соединений [14]. Большое влияние на сохранность химических соединений в почве оказывают различные почвенные микроорганизмы, для которых нефтепродукты нередко являются источником углерода.

Современные технологии очистки территорий, загрязненных углеводородами, – очень трудоемкий, дорогой и длительный процесс, который включает выемку грунта и локализацию загрязненных почв на безопасных полигонах, стабилизацию и кристаллизацию, промывку почвы, экстракцию, компостирование, химическое окисление, термическую десорбцию и сжигание, а также биоремедиацию (биоаугментацию, биостимуляцию и фиторемедиацию).

По сравнению с физическими и химическими методами очистки, биоремедиация считается экономически наиболее эффективным методом и обеспечивает ремедиацию почв *in situ* без нарушения естественных экосистем. Эта технология экологически безопасна, поскольку происходит стимулирование естественных природных процессов. *In situ* биоремедиация также предоставляет возможность восстановить загрязненную почву и грунтовые воды без необходимости выемки грунта, что является большим преимуществом.

Воздействию бактерий доступны почти все известные углеводороды, но в первую очередь деградирует насыщенная группа углеводородов. При их окислении образуется ряд промежуточных продуктов: биологические поверхностно-активные вещества (биоПАВ), биополимеры, спирты, оксикислоты сложных эфиров, карбоновые кислоты, альдегиды, кетоны, в небольших количествах – органические переносчики, надкислоты и другие соединения. Следует отметить, что процессы

окисления углеводородов протекают, как правило, при активном росте и размножении микрофлоры.

В настоящее время существуют различные методы рекультивации, основанные на углеводородокисляющей активности микроорганизмов. Несмотря на кажущееся разнообразие, в основе их лежит или стимуляция аборигенной почвенной микрофлоры, или интродукция в почву углеводородокисляющей микрофлоры с внесением комплекса минеральных удобрений или сорбентов. Как правило, микробиологические приемы дополняются агротехническими [4, 12].

Целью работы являлась оценка эффективности биоремедиации антропогенно нарушенных ландшафтов, загрязненных углеводородами, как основы системы мероприятий для улучшения среды обитания человека на севере Сибири.

**Материалы и методы.** Образцы почв и пробы воды собирались на территории деятельности ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» и ОАО «Газпромнефть-Муравленко» (юг Ямало-ненецкого автономного округа) в 2005–2010 гг. Всего было собрано по 87 образцов почв и проб воды до и после проведения микробиологической очистки.

Известно, что почвы разных регионов содержат микроорганизмы, наиболее приспособленные (естественная селекция) к обитанию в данном регионе и данной экологической нише. Установлено, что для каждого региона необходима своя специально подобранная композиция микроорганизмов, которая может составить основу биотехнологических препаратов для очистки почвы и водоемов от нефти [2–4, 16].

Учитывая сложные температурные условия в северных районах России, при которых большую часть лета температура на глубине 10–20 см составляет 6–14°C, применение биопрепаратов, для оптимальной работы которых необходима температура в 18–25°C, является нецелесообразным.

В связи с этим в качестве препаратов для проведения очистки загрязненных территорий и водоемов использовали коммерческий препарат марки «Биоойл-Югра» (производства АО «Биоойл»), эффективный при низких температурах.

Анализ содержания нефтепродуктов в почве и воде проводили флуориметрическим методом в соответствии с методикой ПНД Ф 16.1.21-98.

### Снижение концентрации нефтепродуктов в группах загрязненных участков после проведения биоремедиации

Группа	Пределы количества нефтепродуктов при формировании группы, %	Среднее снижение количества нефтепродуктов после биоремедиации, %
№1	5-15	56,97±16,13
№2	15,1-25	53,57±17,19
№3	25,1-35	67,39±12,34
№4	35,1-45	68,64±20,73
№5	45,1-55	53,92±28,22
№6	>55,1	44,74±25,29

**Результаты и обсуждение.** Все участки были разделены на условные группы по содержанию нефтепродуктов до проведения работ по биологической рекультивации. Группы формировались по содержанию нефтепродуктов по увеличению на 10%, начиная с 5%. Таким образом, были сформированы 6 групп (таблица):

№1 – содержание нефтепродуктов от 5 до 15%, 10 участков;

№2 – содержание нефтепродуктов от 15,1 до 25%, 45 участков;

№3 – содержание нефтепродуктов от 25,1 до 35%, 14 участков;

№4 – содержание нефтепродуктов от 35,1 до 45%, 6 участков;

№5 – содержание нефтепродуктов от 45,1 до 55%, 6 участков;

№6 – содержание нефтепродуктов от 55,1 и более, 6 участков.

Количество нефтепродуктов в образцах до проведения биоремедиации варьировало от 7,14 до 80,73%. Обработка загрязненных нефтью и нефтепродуктами участков препаратами на основе микроорганизмов-нефтедеструкторов приводила к снижению количества нефтепродуктов в среднем на 56,64±18,82%. Процент снижения нефтепродуктов варьировал незначительно и достоверно не отличался среди условно разделенных групп (таблица). Остаточное загрязнение варьировало в пределах от 1,23 до 61,42% и зависело в основном от рельефа и почвы конкретного загрязненного участка.

**Заключение.** Нами было оценено снижение содержания нефтепродуктов при использовании ассоциации микроорганизмов, выделенной из загрязненных почв южной части ЯНАО. Проведена оценка биоремедиации загрязненных нефтепродуктами территорий как основы системы мероприятий для улучшения среды обитания

человека на севере Сибири. Показано, что снижение количества нефтепродуктов после проведения биоремедиации в среднем происходило на  $56,64 \pm 18,82\%$ .

Таким образом, показано, что биоремедиация позволяет снизить содержание нефтепродуктов на загрязненных территориях, а биорекультивация – довести показатели загрязнителей до фоновой нормы. Так как основным загрязнителем на севере Сибири являются углеводороды (нефть, нефтегазоконденсат), снижение их количества или полная утилизация в процессе биоремедиации является основным показателем улучшения среды обитания человека.

Проблема очистки территорий, в том числе обводненных, от отходов представляется актуальной, требующей современных подходов и решений, а также усиленного внимания и контроля со стороны государства на всех уровнях. Эффективность очистки загрязненных территорий напрямую определяет уровень здоровья и жизни людей, проживающих в данном регионе.

## Литература

1. Аристовская Т.В. Микроорганизмы как трансформаторы и стабилизаторы биосферы / Т.В. Аристовская // Почвоведение. – 1988. - № 7. – С. 76-82.
2. Aristovskaya T.V. Microorganisms as transformers and stabilizers of the biosphere / T.V. Aristovskaya // Pochvovedenie. – 1988. - № 7. – P. 76-82.
3. Биовосстановление загрязненной нефтью почвы при ликвидации последствий аварии на магистральном нефтепроводе Лисичанск-Тихорецк / И.И. Щеблыкин, М.Б. Битеева, В.В. Бирюков, М.И. Янкевич // Охрана окружающей среды. - 1995. - С. 19-28.
4. Bioremediation of petroleum-contaminated soil at liquidation of consequences of accident on the main oil pipeline Lisichansk-Tikhoretsk / I.I. Shcheblykin, M.B. Biteeva, V.V. Biryukov, M.I. Yankevich // Okhrana okrujayushey sredy. - 1995. - P. 19-28.
5. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях / А.В. Кураков, В.В. Ильинский, С.В. Котелевцев, А.П. Садчиков. – М.: Изд-во «Графикон», 2006. – 336 с.
6. Bioindication and rehabilitation of ecosystems with oil pollution / A.V. Kurakov, V.V. Ilinsky, S.V. Kotelevtsev, A.P. Sadchikov. – M., «Graphicon», 2006. – 336 p.
7. Биорекультивация загрязненных нефтью объектов в Тюменской области / Е.К. Емельянова, А.Ю. Алексеев, А.В. Мокеева [и др.] // Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина. - 2010. – Т. 8, вып. 4. - С. 155-161.
8. Biorecultivation of oil-polluted soils in the Tyumen region / E.K. Yemelyanova, A.Y. Alekseev, A.V. Mokeeva, [et al.] // Vestnik NSU. Series: Biology, clinical medicine. - 2010. – Vol. 8 (4). - P. 155-161.
9. Влияние нефти и нефтепродуктов на растительный компонент водной экосистемы (Методическая разработка) / С.Ф. Гилязов, О.Н. Кожанова, А.Г. Дмитриева, Н.Л. Дронина – М.: НИВЦ МГУ, 1990. - 48 с.
10. The effects of oil and oil products on plant component of the aquatic ecosystem (Methodical development) / S.F. Gilyazov, O.N. Kozhanova, A.G. Dmitrieva, N.L. Dronina. - M.: NIVC MGU, 1990. - 48 p.
11. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям / М.А. Глазовская // Почвоведение. – 1999. - № 1. - С. 114-124.
12. Glazovskaya M.A. Problems and methods of estimation of ecological-geochemical soil stability and soil to anthropogenic impacts / M.A. Glazovskaya // Pochvovedenie. – 1999. - № 1. – P. 114-124.
13. Егоров Н.Н. Особенности загрязнения подземных вод и грунтов нефтепродуктами / Н.Н. Егоров, Ю.К. Шипулин // Водные ресурсы. – 1998. - Т.25, вып. 5. - С. 598-602.
14. Egorov N.N. Characteristics of pollution of underground waters and soils with oil products / N.N. Egorov, Y.K. Shipulin // Vodniye resursy. – 1998. - Vol. 25, № 5. - P. 598-602.
15. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.
16. Zvyagintsev D.G. Soil and microorganisms / D.G. Zvyagintsev. – M.: MGU, 1987. – 256 p.
17. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и самоочищение почвы / Е.Н. Мишустин, М.И. Перцовская. – М.: АН СССР, 1954. - 650 с.
18. Mishustin E.N. Microorganisms and the purification of soil / E.N. Mishustin, M.I. Pertsovskaya. - M.: AN SSSR, 1954. - 650 p.
19. Мишустин Е.Н. Санитарная микробиология почвы / Е.Н. Мишустин, М.И. Перцовская, В.А. Горбов. – М.: Наука, 1979. - 304 с.
20. Mishustin E.N. Sanitary Microbiology of the soil / E.N. Mishustin, M.I. Pertsovskaya, A.V. Gorbov. - M.: Nauka, 1979. - 304 p.
21. Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем / З.И. Никитина. – Новосибирск: Наука, 1991. - 222 с.
22. Nikitina Z.I. Microbiological monitoring of terrestrial ecosystems / Z. I. Nikitina. – Novosibirsk: Nauka, 1991. - 222 p.
23. Проблемы очистки нефтезагрязненных территорий в Северных регионах / А.Ю. Алексеев, В.А. Забелин, Д.А. Филатов, К.А. Шаршов // Экологический вестник России. - 2015. - №2. - С. 40-43.
24. The problem of cleaning the oil-polluted territories in the Northern regions / A.Y. Alekseev, V.A. Zabelin, D.A. Filatov, K.A. Sharshov // Ecological Bulletin of Russia. – 2015. - № 2. - P. 40-43.
25. Прогноз чрезвычайной обстановки на территории Российской Федерации на 2016 год № 123-1362-8-2 от 24.12.2015 г. МЧС России, Всероссийский центр мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, Центр «Антистихия». – М., 2015. – 80 с.
26. The forecast of emergency situation in the territory of the Russian Federation for 2016 № 123-1362-8-2 24.12.2015 G. EMERCOM of Russia, all-Russian center of monitoring and forecasting emergency situations of natural and technogenic character, the Antistikhia Center, M., 2015. – 80.
27. Alexander M. Biodegradation of chemicals of environmental concern / M. Alexander // Science. – 1980. -V. 211. – P. 132 138.
28. Alexander M. Biodegradation of chemicals of environmental concern / M. Alexander // Science. -1980. - V. 211. - P. 132 138.
29. Asthma symptoms, lung function, and markers of oxidative stress and inflammation in children exposed to oil refinery pollution / F. Rusconi, D. Catelan, G. Accetta [et al.] // J Asthma. -2011. - № 48(1). - P. 84-90.
30. Atlas R.M. Hydrocarbon biodegradation and oil spill bioremediation / R.M. Atlas, R. Bartha // Adv Microb Ecol.- 1992. - №12. - P. 287–338.
31. Coleman D.C. Soil biology, soil ecology, and global change / D.C. Coleman, E.P. Odum, D.A. Crossley // Biol. Fertil. Soils. – 1992. - V. 14. - № 2. - P. 104 -111.
32. Coronas M.V. Genetic biomonitoring of an urban population exposed to mutagenic airborne pollutants / M.V. Coronas, T.S. Pereira, J.A. Rocha [et al.] // Environ Int.- 2009. - № 35(7). - P. 1023-1029.
33. Porous biocarrier-enhanced biodegradation of crude oil contaminated soil / Y. Liang, X. Zhang, D. Dai, G. Li. International Biodeterioration and Biodegradation. – 2009. - V. 63. - №1. - P. 80-87.

