

Н. Г. Максимович, В. Т. Хмурчик, О. Ю. Мещерякова
Естественнаучный институт Пермского государственного университета

ОПЫТ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Загрязнение природной среды нефтью и сопутствующими загрязнителями — острейшая экологическая проблема во многих регионах России. Химическое загрязнение почвенного покрова происходит практически на всех стадиях технологического процесса нефтедобычи в результате разливов нефти и нефтесодержащих продуктов (подтоварной воды, промывочной жидкости), сильноминерализованных пластовых вод, химических реагентов, выбросов продуктов сгорания.

**GROUND WATERS CLARIFICATION EXPERIENCE FROM OIL POLLUTION
BY BIOLOGICAL METHODS**

Environmental pollution by petroleum and attended pollutions is the keen environmental problem in many regions of Russia. Soil cover chemical pollution occurs practically at all stages of oil extraction technological process as a result of oil spillages and oily prods (comercial water, flushing fluid), highmineralized formation water, chemical reactants, emissions of combustion products.



Нефтезагрязненные подземные воды после обработки (слева) и без обработки (справа)

Негативное воздействие нефтедобычи обусловлено как непосредственной деградацией почвенного покрова на участках разлива нефти, так и воздействием ее компонентов на сопредельные среды: растительный покров, животный мир, поверхностные и подземные воды, вследствие чего продукты трансформации нефти обнаруживаются в различных объектах биосферы (Hostettler et al., 1992; Gan-steretal, 1993).

Методы ликвидации разливов нефти и последующей рекультивации территории хорошо разработаны. Очистка от загрязнения подземных вод является более сложной задачей и требует специфических подходов.

Бактериальные сообщества подземных вод способны трансформировать не только природные органические и неорганические соединения, но и

большое количество ксенобиотиков, являясь главными агентами процесса самоочищения подземных вод. Считается, что загрязненные подземные воды содержат акклиматизировавшиеся микробные популяции, способные к трансформации загрязняющих веществ при существующих окислительно-восстановительных условиях (Ghiorse, Wilson, 1988; Kaiser, Bollag, 1990; Kolbel-Boelke et al 1988). При этом существенными факторами для жизнедеятельности нефтеокисляющего бактериального сообщества является наличие в достаточном количестве акцепторов электронов (химических агентов окисления нефтяных углеводородов) и биогенных элементов, прежде всего азота и фосфора, для развития самого сообщества (Caldwell et al, 1999; Criddle et al, 1986; Edwards, Grbic-Galic, 1992; El-men et al, 1997;

Kleikemper et al, 2002; Lovley 1997; Robertson et al, 2001). Однако естественное самоочищение является очень длительным процессом, продолжающимся в зависимости от природы загрязняющих веществ от одного до нескольких десятилетий.

Развитие нефтеокисляющей микрофлоры в естественной среде ограничивается следующими основными факторами: низкой температурой, недостатком биогенных элементов, недостатком кислорода, избыточной кислотностью. Для водной среды наиболее существенны первые два фактора, тогда как для почвы значимы все. Естественно, что в условиях нарастающего загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами специалисты-микробиологи обратились к идее использовать для борьбы с этим бедствием

углеводородоокисляющие микроорганизмы. Начиная с 70-х годов XX века ведется активный поиск способов интенсификации биологической деградации углеводородов в почве и воде. В последнее десятилетие появилось много публикаций об эффективном использовании микроорганизмов для удаления экотоксикантов на основе нефти (Киреева, 1994; Глик, Пастернак, 2002). В исследованиях по интенсификации биологической



Натурные испытания на скважине

деградации нефти и нефтепродуктов основополагающим является принцип создания оптимальных условий для развития естественной нефтеокисляющей микрофлоры. Реализация этого принципа в водной среде сопряжена со значительными методическими трудностями.

Биологические способы деградации углеводов применяют в тех случаях, когда их содержание в окружающей среде слишком мало для применения механических средств сбора, а с другой стороны, слишком велико, чтобы использовать загрязненные земли и воду в хозяйственных целях без очистки.

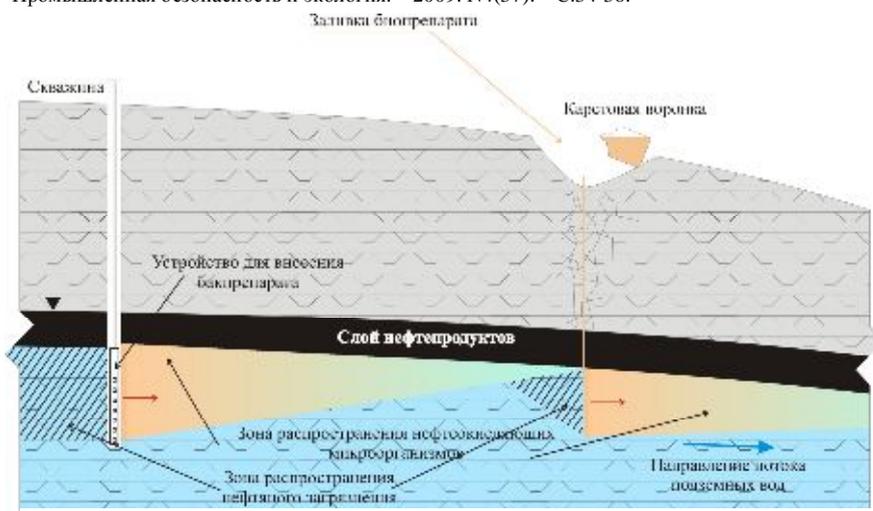
Разработаны и используются два принципиальных подхода для ускорения биологических процессов деградации нефтяных углеводов, загрязняющих естественную среду. Первый из них заключается в стимуляции естественной (автохтонной) нефтеокисляющей микрофлоры путем создания оптимальных условий для ее развития — внесение азотно-фосфорных удобрений, аэрация и прочее. Второй подход предусматривает интродукцию (введение) в загрязненную экосистему активных углеводородокисляющих микроорганизмов (обычно наряду с добавками солей азота и фосфора). Повышение численности углеводородокисляющих микроорганизмов путем интродукции активных форм является полезным, тем более, что интродукция в нефтезагрязненную природную среду автохтонных (то есть, выделенных из этой среды) нефтеокисляющих микроорганизмов не оказывает негативного влияния на естественную экологическую обстановку (Коронелли,

1996; Квасников, Ключкина, 1981; Морозов, Николаев, 1978). Методы биологической деградации нефтепродуктов применяются главным образом для ликвидации поверхностных разливов нефти. Отечественные и зарубежные технологии борьбы с нефтяными загрязнениями природных вод основаны, как правило, на применении технических средств (сбор, откачка нефти и т.д.) или использовании химикатов, которые нередко сами наносят вред окружающей среде, а также различных препаратов, в том числе и микробиологических («Путидойл», «Олеоворин», «Нафтокс», «Unigem», «Родер», «Центрин», «Псевдомин», «Дестройл», «Микромицет», «Лидер», «Деворойл» и др.).

Борьба с нефтяным загрязнением подземных вод требует особых приемов и технологий, учитывающих особенности гидродинамического режима подземных вод, литологический состав вмещающих пород и характер перераспределения нефти в системе «вода — порода». Для очистки нефтезагрязненных подземных вод применяются оба вышеназванных подхода. Как правило, подземные воды откачивают из водоносного горизонта на поверхность, обрабатывают в биореакторах и закачивают обратно. Существенными недостатками такого способа биологической очистки являются большие материальные затраты и трудоемкость работ. Кроме того, разнообразие гидрогеологических условий районов, подвергающихся загрязнению, в ряде случаев не позволяет использовать дренаж и откачку нефтесодержащих вод.

Реже производят мероприятия по

очистке подземных вод прямо в массиве водовмещающих пород, хотя в настоящее время введение биопрепаратов, содержащих микроорганизмы-нефтедеструкторы, является наиболее перспективным и экологически чистым способом ликвидации нефтезагрязнений окружающей среды (Шкидченко и др. 2004). Следует отметить, что четких критериев составления искусственных ассоциаций микроорганизмов-нефтедеструкторов до настоящего времени не выработано, и в состав биопрепаратов включают штаммы по принципу их совместимости и высокой нефтеразлагающей активности (Барышникова и др., 2001). Проблема заключается и в трудности самого приема интродукции штаммов в загрязненные объекты по причине их конкурентных отношений с автохтонной углеводородокисляющей микрофлорой. Считается, что выделение автохтонных нефтеокисляющих микроорганизмов позволит избежать антагонизма в популяции при интродукции чистых культур выделенных микроорганизмов и их консорциумов в объекты того же района для борьбы с разливами нефти и остаточными нефтезагрязнениями (Опыт..., 2000). В 2004 г. Естественнонаучным институтом Пермского государственного университета начаты натурные исследования по применению активного нефтеокисляющего сообщества микроорганизмов для обработки нефтезагрязненных карстовых подземных вод. Из подземных вод района с интенсивным развитием карста было выделено нефтеокисляющее сообщество микроорганизмов и разработана технология его применения для очистки нефтезагрязненных подземных вод той же территории (Максимович, Хмурчик, 2007). Технологию сначала отработывали в лабораторных условиях, а затем проводили натурные испытания на наблюдательных скважинах района, где над грунтовыми водами в результате загрязнения нефтепродуктами сформировалась нефтяная линза. Для внесения бактериального сообщества в водоносный горизонт на точно заданную глубину, а также для периодического отбора с разных глубин водоносного горизонта представительных проб использовали специально сконструированное и запатентованное устройство



Принципиальная схема биохимической очистки подземных вод

(Максимович, Хмурчик, 2006). Об эффективности использования технологии в лабораторных и природных условиях судили по убыви индивидуальных компонентов нефти, регистрируемой общепринятыми методами газо-жидкостной хроматографии и ИК-спектрометрии. Разработанная технология позволила в подземных водах за 3 месяца снизить в пленке нефти на поверхности воды содержание н-алканов в 4,2 раза по сравнению с контролем (на скважинах, где технология не применялась) за счет деструкции, главным образом, низко- и среднемолекулярных углеводородов. По данным ИК-спектрометрии и газо-жидкостной хроматографии содержание н-алкильных структур снизилось примерно в 4 раза, в составе отдельных классов углеводородов нефти также произошли значительные изменения: изменилось соотношение между н-алканами и нафтеновыми углеводородами, а также н-алканами и изопреновыми углеводородами. В то же время в контрольных скважинах снижение содержания нефтяных компонентов за счет действия физико-химических факторов не превышало 20%. Таким образом, проведенные натурные исследования показали, что разработанная на основе использования автохтонного нефтеокисляющего бактериального сообщества технология ускоряет биологическую очистку нефтезагрязненных подземных вод. Технология может быть применена для очистки не только подземных, но и поверхностных и сточных вод. Ее эффективность будет зависеть от конкретных природных условий (геохимических, литологических, гидродинамических). Также разработанная технология может быть

использована как самостоятельно, так и дополнительно к традиционным, повышая тем самым эффективность очистки. Особый эффект от использования данной технологии можно ожидать при решении наиболее трудной задачи — очистки пород от сорбированных нефтепродуктов в зоне сезонного колебания уровня подземных вод. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Барышникова Л. М. и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2001. Т. 37. № 5. С. 542-548.
- Глик Б., Пастернак Д. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение. — М, Мир, 2002. 589 с.
- Квасников Е. И., Ключникова Т. М. Микроорганизмы — деструкторы нефти в водных бассейнах. — Киев, Наукова думка, 1981. 132 С.
- Киреева Н. А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. — Уфа, Недра, 1994. 171 с.
- Коронелли Т. В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводородов в окружающей среде. // Прикл. биохим. и микробиол. 1996, Т. 32, № 6, с. 579-585.
- Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т. Патент на полезную модель N 54398 РФ. Пробоотборник. Заявитель и патентообладатель ФГНУ «Естественнонаучный институт». — № 2005139519/22; заявл. 16.12.05; опубл. 27.06.06.
- Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т. Патент на изобретение № 2312719 РФ. Консорциум штаммов углеводородокисляющих бактерий pseudomonas aeniginosa НД К3-2 в качестве деструктора нефтепродуктов и способ очистки нефтезагрязненных подземных вод. Заявитель и патентообладатель ООО «Лукойл-Пермь». — № 2006104797; заявл. 15.02.06; опубл. 20.12.07.
- Морозов Н. В., Николаев В. Н.

Влияние условий среды на развитие нефтеразлагающих микроорганизмов. // Гидробиол. журн., 1978, Т. 14, №4, с. 55-59.

Опыт ликвидации аварийных разливов нефти в усинском районе Республики Коми / Под ред. В.С. Бибилова. — Сыктывкар, Коми-мелиоводхозпроект, 2000. 183 с.

Шкидченко А. Н., Петрикевич С. Б., Кобзев Е. Н. II Биотехнология. 2004. № 3. С. 70-74.

Caldwell M. E., Tanner R. S., Sufliata J. M. Microbial metabolism of benzene and the oxidation of ferrous iron under anaerobic conditions: Implication for bioremediation. //Anaerobe, 1999, Vol. 5, p. 595-603.

Criddle C S., McCarty P. L, Elliott M. C, Barker J. K Reduction of hexachloroethane to tetrachloroethylene in groundwater. // J. Contaminant Hydrol., 1986, Vol. 1,p. 133-142.

Edwards E. A., Grbic-Galic D. Complete mineralization of benzene by aquifer microorganisms under strictly anaerobic conditions. // Appl. Environ. Microbiol., 1992, Vol. 58, p. 2663-2666.

ElmenJ., Pan W., Leung S. ¥., Magyarosy A., Keasling J. D. Kinetics of toluene degradation by a nitrate-reducing bacterium isolated from a groundwater aquifer. // Biotech. Bioeng., 1997, Vol. 55, p. 82-90.

Ganster D., Bonnevie N., Gillis C, Wen-ningR. II Ecotoxicology and environmental safety. 1993. V. 25. № 2.

Ghiorse W. C, Wilson J. T. Microbial ecology of the terrestrial subsurface. // Adv. Appl. Microbiol., 1988, Vol. 33, p. 107-172.

Hosteltler F. et al. // Marine pollution Bulletin. 1992. V. 24. №2.

Kaiser J.-P., Bollag J.-M. Microbial activity in the terrestrial subsurface. // Experientia, 1990, Vol. 46, p. 797-806.

Kleikemper J., Schroth M. H., Sigler W V, Schmucki M, Bernasconi S.M., Zeyer J. Activity and diversity of sulfate-reducing bacteria in a petroleum hydrocarbon-contaminated aquifer. //Appl. Environ. Microbiol., 2002, Vol. 68, p. 1516-1523.

Kolbel-Boelke J., Anders E.-M., Nehrkom A. Microbial communities in the saturated groundwater environment. II: Diversity of bacterial communities in a pleistocene sand aquifer and their in vitro activities. // Microb. Ecol., 1988, Vol. 16, p. 31-48.

Lovley D. R. Microbial Fe(III) reduction in subsurface environments. // FEMS Microbiol. Rev., 1997, Vol. 20, p. 305-313.

Robertson W. J., Bowman J. P., Fran-zmann P. D., MeeB. J. Desulfosporosinus meridiei sp nov., a spore-forming sulfate-reducing bacterium isolated from gasoline-contaminated ground-water. // Int. J. Syst. Evolut. Microbiol., 2001, Vol. 51,p.133-140.