

УДК 504:622.279

Н.Б. Пыстина, Е.Л. Листов, И.В. Балакирев, А.С. Никишова, С.И. Липник

Применение современных биотехнологий при решении актуальных экологических задач нефтегазового комплекса

Решение экологических вопросов в нефтегазовом комплексе – очень сложная и многогранная задача, ориентированная на минимизацию вредного воздействия на окружающую среду со стороны производственного объекта на всех стадиях его «жизненного цикла». Расширение географии нефтегазодобычи в регионы со сложными климатическими условиями определяет новые требования к технологиям и прежде всего по ужесточению экологической безопасности. Кроме того, по-прежнему актуальны снижение выбросов загрязняющих веществ и образования отходов на действующих производственных объектах, а также ликвидация накопленного экологического ущерба, что требует разработки и внедрения новых, эффективных и экологически безопасных технологий. Современные биотехнологии позволяют решить ряд следующих экологических задач: очистка нефтезагрязненной почвы и воды; восстановление нарушенных земель; ликвидация нефтешламов; очистка хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод.

Очистка нефтезагрязненной почвы и водных объектов

Устранение экологических последствий аварийных ситуаций зачастую является сложной природоохранной задачей. Постоянно ведется поиск оптимального способа рекультивации обширных земельных площадей, восстановления продуктивности водоемов, загрязненных углеводородами.

С точки зрения эколого-экономических показателей наиболее перспективным способом очистки различных сред, загрязненных углеводородами, является применение биотехнологий, основанных на использовании микробных биопрепаратов [1]. Сущность данных технологий состоит в том, что в загрязненный объект извне вводятся активная биомасса живых углеводородокисляющих микроорганизмов (биопрепарат), которые потребляют углеводороды в качестве единственного источника питания; при этом восстанавливается целостность природных экосистем.

На территории Опытно-экспериментального центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ» действует экспериментальная установка по производству биопрепаратов, предназначенных для ликвидации углеводородных загрязнений. К основным решаемым задачам относятся: проведение селекции новых штаммов микроорганизмов-деструкторов углеводородов; отработка технологии производства и применения новых биопрепаратов; обеспечение поставки чистой культуры для опытно-промышленных установок в будущем. Результатом проделанной работы является создание нового биопрепарата из серии «Биодеструктор» – «БИОРОС», максимально направленного на утилизацию загрязнений, характерных для нефтегазового комплекса. «БИОРОС» состоит из штаммов бактерий *Rhodococcus sp.* и дрожжей *Candida sp.* [2]. Содержание культур микроорганизмов в готовом биопреparate может варьироваться в любом соотношении в зависимости от условий применения.

Биопрепарат «БИОРОС» прошел ряд лабораторных и полевых испытаний. В период с 2009 по 2011 гг. в рамках эколого-технологических экспедиций на п-ове Ямал были проведены исследования по определению эффективности очистки почвы от углеводородных загрязнений на территории Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (БНГКМ). Поставлена серия экспериментов с применением двух

Ключевые слова:

утилизация отходов, промышленные объекты, вывоз и переработка отходов, прогноз образования отходов, мониторинг атмосферного воздуха.

Keywords:

waste management, industrial facilities, waste and recycling, the forecast of waste, air monitoring.

методов – *ex situ* (с очисткой почвы в твердофазном ферментере (бурте)) и *in situ* (без изъятия почвы, на месте локализации загрязнения). Метод *in situ* был реализован в двух вариантах – с очисткой почвы в естественных условиях и с применением укрывного материала (агропленки). Каждый технический подход в свою очередь был проведен в четырех вариантах экс-

перимента, отличающихся составом биопрепарата «БИОРОС» (рис. 1–3):

- чистая дрожжевая культура;
- смесь (50/50) дрожжевой и бактериальной культур;
- лизированный биопрепарат;
- контроль (вносили только минеральные удобрения).



Рис. 1. Очистка в естественных условиях



Рис. 2. Очистка с применением агропленки



Рис. 3. Очистка в твердофазном ферментере

В табл. 1 представлены результаты некоторых из проведенных экспериментов.

Из данных, приведенных в табл. 1 видно, что наилучший результат со степенью очистки 87,0 % от первоначальной концентрации достигнут на участке с очисткой в бурте с применением дрожжевой монокультуры (данный эксперимент показал лучшие результаты в каждом из участков). Следует отметить, что в экспериментах, поставленных в бурте, были получены более высокие результаты, чем на двух других участках, что закономерно, так как в бурте были созданы более благоприятные температурные условия и проводилась дополнительная аэрация.

Биопрепарат «БИОРОС» прошел исследования в лабораторных условиях, при которых моделировались различные внешние факторы (температура, влажность), изучались различные субстраты, виды загрязнителей и их концентрации. «БИОРОС» показал высокую эффективность в широком диапазоне температур, рН и начальной степени

загрязнения при очистке почвы от углеводородов [3, 4, 5].

Применение биопрепаратов в классическом виде при очистке водных объектов осложняется отсутствием повышенной плавучести у культур углеводородокисляющих микроорганизмов. В настоящий момент в лаборатории биотехнологических исследований ведутся работы по созданию нового биосорбента, обладающего повышенной плавучестью и углеводородокисляющей активностью. Плавучесть биосорбента обеспечивается частицами гидрофобизированного торфа, в порах которых иммобилизованы клетки бактерий, отвечающие за биологическую активность. Биосорбент объединяет физический метод ликвидации нефтяного загрязнения (сорбция) с его дальнейшей биологической деградацией микроорганизмами. Также преимуществом биосорбента является возможность быстро локализовать загрязнение на поверхности воды, предотвращая распространения в глубину и по поверхности водного объекта.

Таблица 1

Эффективность очистки почвы от углеводородов на территории Бованенковского НГКМ

Эксперимент	Степень очистки, % за 14 дней испытаний		
	<i>in situ</i>	<i>in situ</i> с применением агропленки	<i>ex situ</i> очистка в бурте
Чистая дрожжевая культура	42,1	32,4	87,0
Смесь (50/50) дрожжевой и бактериальной культур	21,0	15,6	72,2
Лизированный биопрепарат	13,3	11,1	48,5
Минеральная подпитка (контроль)	8,1	14,1	19,5

Очистка амбаров и обезвреживание нефтешламов

Биотехнологии способны решать задачи по обезвреживанию образующихся в ходе технологических процессов нефтешламов, обеспечивая при этом высокую степень утилизации углеводородов, экономичность, надежность и экологическую безопасность.

Сотрудниками Центра экологической безопасности, энергоэффективности и охраны труда ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработан способ по утилизации продуктов очистки полости магистрального газопровода (МГ), отличающихся повышенным содержанием нефтепродуктов. Суть разработанного способа заключается в использовании углеводородной составляющей отхода в качестве питательной среды для культивирования микроорганизмов с последующим получением органического веще-

ства биомассы. При этом образующуюся биомассу можно использовать в качестве добавки к газонному грунту при озеленении промышленных площадок и рекультивации нарушенных земель. Для реализации данного способа авторы предлагают лишь незначительно конструктивно изменить коллектор-сборник, расположенный на площадке камеры приема очистного устройства.

В лаборатории биотехнологических исследований ООО «Газпром ВНИИГАЗ» были проведены испытания по обезвреживанию двух образцов нефтешламов, отобранных из амбаров, расположенных на территории Суторминского месторождения (табл. 2).

Сложность очистки нефтешламов биологическими методами заключается в высоком

Таблица 2

Характеристика образцов нефтешламов

Объект испытаний	Концентрация нефтепродуктов, % масс.	Влажность, %	pH
Нефтешлам №1 (застарелый)	17,3	53	7,2
Нефтешлам №2 (свежий)	10,5	77	7,8

содержании нефтепродуктов в данном типе отходов, а также их пастообразной структуре. Доступ кислорода воздуха ко всему объему очищаемой среды является одним из главных факторов обеспечения интенсивного биокисления. Для эффективной очистки было необходимо добиться изменения структуры нефтешламов, сделав ее рыхлой и крошкообразной. Для этих целей был использован извест-

ный способ – добавление сухого структуратора, в качестве которого применили древесные опилки. В роли биологического агента был использован биопрепарат «БИОРОС». В ходе исследований поставлена серия экспериментов. Результаты исследований показали, что биотехнологии могут с успехом применяться на предприятиях нефтегазового комплекса для очистки нефтешламов (табл. 3).

Таблица 3

Эффективность очистки нефтешламов

Объект испытаний	Состав биопрепарата «БИОРОС»	Эффективность очистки за 7 недель, %
Нефтешлам №1 (застарелый)	Бактерии	38
	Дрожжи	27
	Бактерии + дрожжи	44
	Контроль	11
Нефтешлам №2 (свежий)	Бактерии	60
	Дрожжи	59
	Бактерии + дрожжи	63
	Контроль	22

Восстановление почвенно-растительного покрова

Одним из главных условий сохранения природной среды Крайнего Севера является предотвращение деградации почвенно-растительного покрова, являющегося основным структурообразующим и наиболее уязвимым элементом природных ландшафтов. Устойчивость и целостность почвенно-растительного покрова обеспечивает не только безопасность окружающей природной среды, но и технических сооружений. Развитие опасных эрозионных и геокриологических процессов, вызванное нарушением почвенного покрова, может стать причиной повреждения или разрушения объектов устройства месторождений [6]. Работая в условиях Крайнего Севера очень важно обладать технологиями, позволяющими ускорить процесс восстановления нарушенного почвенно-растительного покрова.

На территории Бованенковского месторождения полуострова Ямал были проведены исследования по восстановлению почвенно-расти-

тельного покрова на техногенных участках, лишенных растительности. Применен бактериальный препарат *Pseudomonas putida*, представляющий собой культуральную жидкость почвенных микроорганизмов, где сама культура и продукты ее жизнедеятельности способствуют оптимизации почвенной среды и повышают устойчивость растений к внешним неблагоприятным факторам. Исследования показали, что применение биопрепарата ускоряет рост и развитие растений, сокращает сроки восстановления травостоя. Важным свойством биопрепарата *Pseudomonas putida* является способность интенсифицировать корнеобразование на ранних этапах развития растения. Благодаря этому развивается густой травостой с плотной дерниной, играющий исключительно важную роль в повышении эрозионной устойчивости почвенных поверхностей. Также почвенные бактерии *Pseudomonas putida* обладают высокой деградационной активностью в отношении большого

количества различных органических соединений, в том числе углеводов.

В ходе работ, проделанных на территории Бованенковского месторождения, были проведены исследования по оценке методов закрепления посевного материала на поверхности субстрата участков рекультивации с повышенной эрозионной опасностью (откосы, техногенные арены и т.д.). Сотрудниками Центра экологической безопасности, энергоэффективности и охраны труда разработан рекультивационный состав на основе биополимера «Ксантан» и отработанного бурового раствора [7]. Смесь, биополимера «Ксантан» с отработанным буровым раствором, обладает хорошими адгезионными свойствами, сохраняющимися в течение нескольких циклов замораживания и оттаивания. Разработанный состав экологически безопасен и подвергается полному биологическому разложению. Исследования показали, что внесение рекультивационного состава позволяет предотвратить ветровую эрозию и вымывание семян с поверхности субстрата, при этом длительность адгезионных свойств достаточна, чтобы обеспечить время для образования плотной корневой системы высевным травам и закреплению субстрата.

Очистка хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод

Очистка и обеззараживание хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод является важной задачей эффективного природопользования. Особенно остро это задача стоит на производственных объектах с незначительным водооборотом, где строительство собственных очистных сооружений экономически нецелесообразно, а удаленность объектов не позволяет отводить стоки на очистные сооружения населенных пунктов или более крупных предприятий. Применение модульных установок по очистке сточных вод позволяет решить данную проблему. В состав установки входят биологический реактор высокой продуктивности и отстойник для отделения активного ила. Реактор обеспечивает повышенный обмен веществ и минимальное образование активного ила. Производительность установки с объемом реактора 130 м³ сопоставима с производительностью очистных сооружений с объемом реактора 2000 м³. При этом затраты электроэнергии составляют 0,2–0,5 кВт/м³. Установка способна эффективно работать как при резких пиковых

нагрузках по концентрации загрязнителя, так и при падении содержания органического вещества в сточных водах.

Использование различных методов защиты окружающей среды, основанных на биологических процессах, является наиболее экологически безопасным подходом, так как все протекающие процессы естественны для самой природы. Современный уровень изученности процессов, протекающих в живых клетках, и развития аппаратного оформления позволяет в разы повысить эффективность биологических методов.

Список литературы

1. Мурзаков Б.Г. Экологическая биотехнология для нефтегазового комплекса (теория и практика) / Б.Г. Мурзаков. – М.: МГУ, 2005 – С. 76–88.
2. Пат. 2384616. Консорциум штаммов микроорганизмов для очистки окружающей среды от углеводов / Самсонов Р.О., Аكوпова Г.С., Козлов С.И., Листов Е.Л.
3. Башкин В.Н. Прогнозирование микробиологического очищения почвы от углеводов газового конденсата и нефти / В.Н. Башкин, Г.С. Аكوпова и др. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 4. – С. 20–24.
4. Аكوпова Г.С. Разложение углеводов нефти в иллювиальном горизонте почвы под действием биологических средств / Г.С. Аكوпова, В.Н. Башкин, Е.Л. Листов и др. // Газовая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 87–91.
5. Башкин В.Н. Разложение углеводов газового конденсата и нефти в почве ремедирующими средствами / В.Н. Башкин, Г.С. Аكوпова, Е.Л. Листов и др. / Трубопроводный транспорт [теория и практика]. – ВНИИСТ, 2010. – № 3. – С. 37–40.
6. Баранов А.В. Полуостров Ямал: экологические проблемы и пути их решения: обз. инф. / А.В. Баранов. – М.: ИРЦ «Газпром», 2006.
7. Пат. 2449001. Способ рекультивации нарушенных земель / Ишков А.Г., Пыстина Н.Б., Листов Е.Л., Балакирев И.В., Никишова А.С.