

УДК 504.064

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ОЧИСТКЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2010 г. Ю.А. Франк¹, С.В. Лушников¹, Е.И. Иванова²,
Д.С. Воробьев³

¹ Общество с ограниченной ответственностью «Научно-техническое объединение «Приборсервис», г. Томск

² Открытое акционерное общество «Томскводпроект» г. Томск

³ Открытое акционерное общество «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа», г. Томск

Ключевые слова: водные объекты, нефтяное загрязнение водных объектов, очистка нефтезагрязненных водных объектов, ликвидация нефтяного загрязнения водных объектов.

В работе рассмотрены наиболее важные теоретические и прикладные вопросы, связанные с проектированием и реализацией работ по очистке нефтезагрязненных водных объектов. Сформулированы основные этапы работ и особенности применения технологий очистки воды и донных отложений и рекультивации береговой полосы при различной степени загрязнения, приуроченности к водоохраным зонам.



Ю.А. Франк



С.В. Лушников



Е.И. Иванова



Д.С. Воробьев

Водное хозяйство России № 2, 2010

Водное хозяйство России

Введение

В настоящее время актуальна проблема ликвидации нефтяного загрязнения пресных водоемов, имеющих рыбохозяйственное и питьевое значение [1]. Нефть и нефтепродукты, попадающие в водоемы в результате хозяйственной деятельности, в целом ряде регионов России превратились в постоянно действующий фактор негативного влияния на окружающую среду [2]. В то же время опыта в проектировании и реализации комплексных работ по очистке и восстановлению нефтезагрязненных водных объектов явно недостаточно.

На данный момент российская практика очистки водоемов от нефти и нефтепродуктов в большей степени сводится к ее сбору с поверхности воды материалами и средствами локализирующего и сорбционного действия с последующим использованием скиммерных и отжимных систем. В большинстве случаев очистные работы включают, наряду со сбором нефти с поверхности, и рекультивацию «видимого» загрязнения береговой полосы, а донные отложения остаются неочищенными из-за предполагаемых трудностей в оценке степени их загрязнения и неотработанных технологий очистки. При такой «фрагментарной» очистке происходит вторичное загрязнение воды и береговой полосы нефтью, аккумулированной в донных отложениях, при первом же подъеме уровня воды. Нефтяное загрязнение при этом продолжает негативно влиять на биоценоз водоема и самовосстановление происходит крайне медленно [3, 4]. Целью же проводимых работ должны являться очистка воды, донных отложений и береговой полосы водоема от нефти до уровня, позволяющего эффективно функционировать процессам самоочищения.

Комплексное обследование нефтезагрязненных водных объектов и оценка состояния их экосистем важны для принятия экологически значимых управленческих решений [5, 6]. Совокупность данных о фактическом состоянии экосистемы и прогнозная оценка ее состояния служат основой для принятия решения об очистке водных объектов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в результате аварийных разливов. При этом гидрохимические признаки и состояние сообществ основных групп гидробионтов во многом определяют формирование программы очистных работ и последующего мониторинга [7].

Настоящая статья посвящена проектированию и реализации работ по очистке нефтезагрязненных водных объектов, преимущественно расположенных в условиях Севера и характеризующихся значительной давностью загрязнения. В качестве примеров можно привести озера бассейнов средней Оби и Печоры, загрязненные 10—15 лет назад и бо-

лее (так называемое «историческое наследие»). Такие озера обладают рядом особенностей в части трофности (преимущественно олиготрофные и дистрофные), видового разнообразия (относительно невысокое разнообразие), небольшой глубиной, гидрохимическими и другими особенностями.

Очистка донных отложений и воды

В донных отложениях нефтяные загрязнения находятся в условиях, сдерживающих процессы их деструкции — дефицит кислорода, низкие показатели фотоокисления, пониженная температура воды. В анаэробных условиях происходит в основном сбразивание органики, сульфатредукция и метанообразование. При этом в воде накапливаются токсичные для гидробионтов вещества.

В основу разрабатываемых проектов комплексной очистки закладывается способ очистки воды и донных отложений водоемов и водотоков от нефтепродуктов, разработанный специалистами ООО «НТО «Приборсервис», не имеющий аналогов в России и за рубежом [8, 9]. Способ позволяет проводить очистку воды от растворенных фракций нефти и извлечение нефти из донных отложений. Очистка донных отложений от нефти осуществляется в течение двух-трех летних сезонов (в зависимости от уровня загрязнения, состояния биоценоза и назначения водного объекта). Общая схема работ по очистке водного объекта от нефтяного загрязнения включает два этапа: технический и биологический.

В технический этап входит ликвидация источников загрязнения нефтепродуктами, очистка от нефти береговой полосы, подъем нефти со дна водоема с помощью флотационного комплекса, сбор видимого нефтяного загрязнения с поверхности воды (рис. 1).

Биологический этап включает использование активных бонов (рис. 2), аэрацию воды и внесение минеральных удобрений и мелиорантов для интенсификации процессов микробиологической очистки водоема с использованием аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры. Данный этап работ может начинаться на участках водоема, соответствующих следующим требованиям:

— отсутствие свободной нефти на поверхности воды (по всей акватории);

— отсутствие нефти на поверхности донных отложений участков.

Основные технологические звенья биологической очистки:

1. *Расстановка на поверхности водоема «активных» бонов.* Активные боны представляют собой субстрат для развития аборигенной



Рис. 1. Сбор нефти с поверхности воды.



Рис. 2. Активные боны.

нефтеокисляющей микрофлоры с добавлением удобрений и цеолита для ее активизации и являются запатентованным продуктом ООО «НТО «Приборсервис».

2. *Аэрация воды.* Кислород, являясь мощным окислителем, играет роль в формировании химического состава природных вод и способствует деструкции нефти. На участке работ устанавливается количество аэраторов, обеспечивающее содержание кислорода в поверхностных водах не менее 8 мг/л, в придонных слоях не менее 4. (с учетом исходного содержания кислорода).

3. *Внесение минеральных удобрений, цеолитов и других мелиорантов.* Общеизвестно, что наличие минеральных биогенных веществ оказывает существенное влияние на скорость самоочищения водных объектов от нефти. В подавляющем большинстве случаев в нефтезагрязненных северных озерах с невысокой трофностью наблюдается недостаток доступных соединений биогенных элементов.

Необходимым условием внесения минеральных удобрений является строгое дозирование, обеспечивающее соблюдение рекомендованного для целей рыбоводства содержания биогенных элементов. Подбор ассортимента и концентраций минеральных удобрений и мелиорантов проводится с учетом гидрохимических показателей воды, результатов гидрологического и гидробиотанического обследования. Для оптимального развития микроорганизмов и водорослей необходимо создать концентрацию минерального азота в пределах 2—3 мг/дм³. Концентрация минерального фосфора в водоеме доводится до 0,5 мг/дм³ воды. Однократное внесение минерального азота и фосфора в указанных концентрациях при условии недостатка этого элемента в водной экосистеме и его нефтяного загрязнения способствует «залповому» развитию нефтеокисляющей микрофлоры.

Использование цеолитов в очистке водоемов от нефти и нефтепродуктов обусловлено их высокопористой структурой, благодаря которой цеолиты обладают большой площадью активной поверхности, обеспечивающей сорбцию углеводородов нефти и адгезию клеток углеводородокисляющих микроорганизмов. Цеолиты эффективно снижают концентрацию аммиачных солей и других азотистых соединений, препятствующих усвоению кислорода рыбами. Использование цеолитов для очистки сточных вод, водных объектов, а также в рыбохозяйственных целях широко освещено в литературе [10—12] и др.

В ходе предпроектного обследования загрязнения донных отложений картируется с условной разбивкой на группы по интенсивности загрязнения. Разбивка формируется исходя из критериев остаточного содержания нефти в донных отложениях и уровня загрязнения объекта.

Таблица 1

Особенности применения технологии очистки донных отложений в зависимости от степени из загрязнения

| Степень загрязнения | Количество проходов флотационным комплексом | Тип проходки флотационным комплексом | Ориентировочное время технического этапа очистки 1 га дна, часов | Кратность внесения алюмосиликатов и минеральных удобрений |
|------------------------|---|--------------------------------------|--|---|
| Условно чистые участки | — | — | — | — |
| Слабая степень | 1 | Веерная | 100 | 2 |
| Средняя степень | 1 | Спиральная | 100 | 2 |
| Сильная степень | 1 | Спиральная | 150 | 2 |

В качестве примера приведем мелкие и средние озера, расположенные в районах нефтегазодобычи, где концентрация ингредиента измеряется десятками и сотнями граммов на килограмм донных отложений. При проектировании очистки таких водных объектов выделяются следующие условные группы донных отложений:

- 0—5000 мг/кг — условно чистые участки дна;
- 5000—25 000 мг/кг — слабая степень загрязнения;
- 25 000—100 000 мг/кг — средняя степень загрязнения;
- Более 100 000 мг/кг — сильная степень загрязнения.

Для донных отложений с различной степенью загрязнения проектом предусматривается различное сочетание технологических приемов (табл. 1).

Основным критерием очистки является общее содержание нефтепродуктов в воде (не выше ПДК) и донных отложениях водоема. ПДК нефтепродуктов в донных отложениях на сегодняшний день не определена. Утвержденные региональными нормативными актами критерии остаточного содержания нефтепродуктов (как пример, [13]) в донных отложениях являются предметом дискуссий. Важным аспектом в этом вопросе является учет давности загрязнения водного объекта нефтепродуктами. Как известно, под влиянием естественных факторов происходит деструкция нефти, и со временем токсичность загрязнения уменьшается.

Наиболее распространенным на сегодняшний день типом водных объектов, для которых востребованы проектирование и реализация работ по очистке, являются мелкие и средние озера, в средней и сильной степени загрязненные нефтью в результате аварийных разливов со значительной давностью загрязнения. При разработке проектов очистки таких озер за критерий остаточного содержания нефтепродуктов при-

нимается значение 5000 мг/кг для торфянистого или илистого дна и 2000 мг/кг для песчаных донных отложений, что оправданно с технологической, экономической и экологической точек зрения.

Рекультивация почв береговой полосы

В качестве основной технологии для рекультивации почв береговой полосы рассматривается технология ООО «НТО «Приборсервис», включающая комплекс агромелиоративных мероприятий, направленных на максимальное стимулирование активности аборигенной углеродородоксилирующей микрофлоры путем внесения мелиорантов-алюмосиликатов [14]. Алюмосиликаты обладают сорбирующими и каталитическими свойствами в сочетании с дозированным внесением минеральных удобрений. Перед проведением биологического этапа рекультивации предусмотрен технический этап, направленный на максимальное снижение содержания нефтепродуктов в грунтах. Проектами может быть рекомендована другая технология рекультивации нефтезагрязненных почв, при условии доказанной эффективности, а также наличия положительного заключения государственной экологической экспертизы.

Авторами сформулированы особенности применения технологии при различной степени загрязнения и приуроченности к водоохраным зонам:

1. *Сильная степень загрязнения* (содержание нефтепродуктов более 250 г/кг при глубине загрязнения менее 20 см). Выполняется срезка верхнего нефтезагрязненного слоя толщиной 10 см и проводится дальнейшая биологическая рекультивация участка в соответствии с принятой технологией до достижения допустимого остаточного содержания нефтепродуктов.

2. *Высокая степень загрязнения* (содержание нефтепродуктов более 250 г/кг при глубине более 20 см). Выполняется срезка грунта на глубину загрязнения с последующей отсыпкой чистым грунтом и фитомелиорацией.

3. *Средняя степень загрязнения* (содержание нефтепродуктов от 100 до 250 г/кг). Проводится полный цикл рекультивации в соответствии с принятой технологией до достижения допустимого остаточного содержания нефтепродуктов.

4. *Слабая степень загрязнения* (содержание нефтепродуктов менее 100 г/кг).

— На участках со слабым поверхностным загрязнением при концентрации нефтепродуктов от минимально допустимого уровня до 100 г/кг или при наличии пятен битума проводятся мероприятия по уда-

лению битуминизированной нефти и внесению небольших доз минеральных удобрений для активизации деятельности аборигенной микрофлоры без нарушения растительного покрова на участке.

— Участки со слабым поверхностным загрязнением нефтью при концентрации нефтепродуктов ниже минимально допустимого уровня и при отсутствии на поверхности почвы битуминизированной корки, с проективным покрытием живого напочвенного покрова более 70 % остаются на самовосстановление (за исключением водоохраных зон).

5. *Участки в водоохраных зонах.* В ходе очистки почв береговой полосы, расположенных в водоохранной зоне, основные рекультивационные мероприятия в соответствии с принятой технологией проводятся при:

- слабой степени загрязнения в 2 полных цикла;
- средней степени загрязнения в 3 полных цикла;
- сильной степени загрязнения предусматривается срезка верхнего 10-сантиметрового слоя загрязненного грунта и рекультивация в 3 полных цикла.

В качестве критериев остаточного содержания нефти в почвах береговой полосы принимаются значения, рекомендованные региональными нормативами (например, [15]).

Заключение

Таким образом, последовательность и объем работ по очистке водных объектов от нефти определяется степенью и характером загрязнения, морфологическими особенностями водного объекта, приуроченностью к водоохраным зонам и др. При выборе конкретных очистных мероприятий особое внимание уделяется требованию не нанести экосистеме больший вред, чем уже нанесен загрязнением. Основные усилия направляются на ликвидацию факторов, сдерживающих процессы самовосстановления экосистемы и последующую их стимуляцию, с максимально возможным сохранением сложившегося биоценоза объекта. Кроме того, существенное влияние на выбор способа очистки оказывает условия проведения работ с точки зрения проходимости для техники и оборудования (обводненность и облесенность береговой линии, глубина водоема, удаленность от мест утилизации отходов).

При разработке проекта составляются технологические карты на каждый участок донных отложений и береговой полосы. Участки донных отложений выделяются исходя из условий загрязнения и морфологических особенностей объекта. При разбивке береговой полосы учитывается также наличие/отсутствие водоохранной зоны вокруг водного

объекта и состояние прибрежной растительности. Проектные решения и технологические карты дополняются картографическим материалом и чертежами, предлагается программа гидрологического мониторинга после реализации проекта.

К настоящему моменту накоплен опыт в проектировании и реализации работ по очистке природных озер и техногенных водных объектов, расположенных на территориях нефтегазодобычи в условиях Севера. Так, выполнен полный комплекс работ на оз. Щучье в Усинском районе Республики Коми в 2004—2006 гг. [16, 17]. Проведена очистка воды и донных отложений двух затопленных карьеров на территории Ханты-Мансийского автономного округа в 2006—2008 гг. [18]. В 2007—2009 гг. разработаны и согласованы с Государственными контролирующими органами 6 проектов очистки озер на территории Сямотлорского месторождения (Нижневартовский район ХМАО-Югра), которые ожидают реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кураков А.В., Ильинский В.В., Котелевцев С.В., Садчиков А.П. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. М.: Изд-во «Графикон», 2006. 336 с.
2. Егоров Н.Н., Шипулин Ю.К. Особенности загрязнения подземных вод и грунтов нефтепродуктами. // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, вып. 5. С. 598—602.
3. Попков В. К., Воробьев Д.С., Лукьянцева Л.В., Рузанова А.И. Бассейн реки Васюган (средняя Обь) как модель пойменно-речной системы для изучения влияния нефтяного загрязнения на водные сообщества // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. Томск. 2002. С. 220—245.
4. Попков В.К., Воробьев Д.С., Лукьянцева Л.В., Рузанова А.И. Особенности оценки экологического состояния рек в нефтепромысловых районах // Материалы междунауч.-практ. конф. «Экологические, гуманитарные и спортивные аспекты подводной деятельности». Томск: Изд-во Томского ун-та. 1999. С. 106—109.
5. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
6. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
7. Франк Ю.А., Лушников С.В., Монголина Т.А., Лукьянцева Л.В., Воробьев Д.С. Комплексное обследование нефтезагрязненных водных объектов как основа для разработки программы их очистки и восстановления // Материалы VIII Международного конгресса «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК-2008 [электронный ресурс]. М.: ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2008. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. Патент 2260652 РФ. Способ очистки воды водоемов и донных отложений от загрязнений нефтью и нефтепродуктами / С.В. Лушников; опублик. 20.09.2005.
9. Евразийский патент 009507. Способ очистки воды и донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов / Лушников С.В., Фадеев В.Н., Воробьев Д.С.; опублик. 28.02.2008.
10. Природные цеолиты. М.: Химия, 1985. 224 с.

11. Природные цеолиты России: геология, физико-химические свойства и применение в промышленности и охране окружающей среды. Т. 1: Тез. респуб. совещания «Природные цеолиты России», 25—27 ноября 1991 г., Новосибирск / РАН, Сиб. отд-ние, Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии. Новосибирск, 1992. 171 с.
12. *Шадрин А.М.* Природные цеолиты Сибири в животноводстве, ветеринарии и охране окружающей среды. Новосибирск. 1998. 116 с.
13. Региональный норматив «Предельно допустимый уровень (ПДУ) содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры» (утв. постановлением Правительства ХМАО от 10.11.2004, № 441-п).
14. Патент 2245748 РФ Способ рекультивации почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами / Лушников С.В., Терещенко Н.Н.; опубл. от 10.02.2005.
15. Региональный норматив «Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры» (утв. постановлением Правительства ХМАО — Югры от 10.12.2004, № 466-п).
16. *Lushnikov S.V., Frank Y.A. and Vorobiev D.S.* Oil decontamination of bottom sediments: experimental work results // *Earth sciences research journal*. 2006. V. 10, No. 1. P. 35—40.
17. *Воробьев Д.С., Туманов М.Д., Носков Ю.А., Лушников С.В., Франк Ю.А.* Ихтиоиндикационная оценка эффективности мероприятий по очистке донных отложений и воды оз. Щучье от нефти (Усинский район, республика Коми) // *Проблемы региональной экологии*. 2008. № 1. С. 125—130.
18. *Воробьев Д.С., Лушников С.В., Фадеев В.Н., Лушников В.С., Франк Ю.А.* Опыт комплексной очистки обводненных карьеров от нефти // *Экология и промышленность России*. 2008. № 4. С. 26—28.

Сведения об авторах:

Франк Юлия Александровна, к. б. н., заместитель генерального директора по научной работе ООО «Научно-техническое объединение «Приборсервис», с. н. с. Томского государственного университета, г. Томск, yulia.frank@gambler.ru;

Лушников Сергей Валерьевич, генеральный директор ООО «Научно-техническое объединение «Приборсервис», г. Томск, 080707@mail.ru;

Иванова Елена Ильинична, инженер-эколог, ОАО «Томскводпроект», г. Томск, ivelenai@gambler.ru;

Воробьев Данил Сергеевич, к. б. н., ведущий научный сотрудник Отдела экологического мониторинга, ОАО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа», г. Томск, danilvorobiev@yandex.ru.