

ЗАГРЯЗНЕНИЕ водной среды УГЛЕВОДОРОДАМИ: риск, профилактика и ремедиация

Представлены данные по наиболее значительным аварийным разливам углеводородов (нефти и газового конденсата) в водную среду в различных регионах страны.

Обосновывается риск загрязнения водной среды углеводородами и описываются профилактические и ремедиационные меры по предупреждению аварийных разливов углеводородов в водную среду и ликвидации их экологических последствий.

Введение

Общеизвестно, что наиболее серьезное загрязнение водной среды углеводородами происходит при аварийных разливах нефти и газового конденсата. При этом углеводороды, поступая в различные водные объекты (озера, реки, моря), образуют плавающую на воде пленку, растворенные или эмульгированные формы, а также могут быть представлены осевшими на дно или адсорбированными донными отложениями тяжелыми фракциями [1]. Углеводороды в водной среде оказывают прямое или косвенное негативное воздействие на обитающие в ней организмы (гидробионты). Так, при разливе 1 т нефти может образоваться пленка, способная покрыть до 12 км² водного зеркала, что приводит к нарушению жизненно важных обменных процессов между атмосферой и гидросферой, повышению температуры поверхностного слоя воды, ухудшению газообмена и т.д., и, в конечном счете, к гибели гидробионтов [2].

Цель настоящей работы состояла в анализе, систематизации и обобщении информации, касающейся проблемы загрязнения водной среды углеводородами и ее решения.

Логика указанной проблемы требовала изложения данной информации в следующей последовательности:

1) представить вышеназванные загрязнители водной среды: нефть и газовый конденсат, как углеводородсодержащие химические вещества;

Р.В. Галиулин*,

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории функциональной экологии, Учреждение Российской академии наук Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН)

В.Н. Башкин,

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории функциональной экологии, Учреждение Российской академии наук Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН)



2) привести примеры наиболее значительных аварийных разливов углеводородов в водную среду;

3) обосновать риск загрязнения водной среды углеводородами;

4) описать профилактические меры по предупреждению аварийных разливов углеводородов в водную среду;

5) описать ремедиационные меры по ликвидации экологических последствий аварийных разливов углеводородов в водную среду.

Результаты и их обсуждение

Нефть и газовый конденсат как углеводородсодержащие химические вещества. Основной частью нефти являются углеводороды со средним их содержанием в 80 % [3]. При этом общее число индивидуальных углеводородных соединений, входящих в состав нефти, достигает 1000; они различаются по молекулярной массе в ряду от C₅H₁₂ (пентан) до C₄₀H₈₂ (тетраоктан) и по строению молекул. Среди углеводородов выделя-

* Адрес для корреспонденции: galiulin-rauf@rambler.ru

ют следующие группы: алканы (парафины, алифатические углеводороды и углеводороды метанового ряда) с общей формулой C_nH_{2n+2} ; цикланы (нафтеновые углеводороды, циклические) – C_nH_{2n} , C_nH_{2n-2} и C_nH_{2n-4} ; арены (ароматические углеводороды) – C_nH_{2n-6} , C_nH_{2n-12} , C_nH_{2n-18} , что служит основой для выделения различных типов нефти по соотношению этих трех групп веществ.

Газовый конденсат представляет собой смесь жидких углеводородов (C_5H_{12} + высшие гомологи), выделяющихся из природных газов при эксплуатации газоконденсатной залежи в результате снижения пластовых давлений и температуры. Наиболее распространены газовые конденсаты с преобладанием метановых углеводородов при значительной доле нафтенных углеводородов. Молекулярная масса газового конденсата колеблется в пределах 92-158 атомных единиц массы. Газовый конденсат имеет меньшую по сравнению с нефтью плотность, составляющую, соответственно, 0,7-0,8 и 0,8-1,1 г/см³.

Аварийные разливы углеводородов в водную среду. В 2003 г. в Иглинском районе Республики Башкортостан вследствие порыва нефтепровода был загрязнен приток р. Сим (бассейн р. Волга) нефтью до 22 ПДК (предельно допустимая концентрация) [4]. В том же году в районе пос. Яя Кемеровской области также в результате порыва нефтепровода произошло загрязнение р. Яя (бассейн р. Обь) нефтью, составившее 150 ПДК в 25 км ниже места аварии [5]. В 2004 г. в районе с. Бугры (Кинельский район Самарской области) в результате несанкционированной (криминальной) врезки в нефтепровод был загрязнен нефтью приток р. Самара (бассейн р. Волга) в количестве, составившем даже через несколько суток 70 ПДК в 6 км от места аварии [6]. В 2005 г. также в результате несанкционированной врезки в магистральный конденсатопровод в Октябрьском районе Оренбургской области произошел разлив газового конденсата с попаданием его в протоку, соединяющую 2 водных объекта – озеро и реку (бассейн р. Урал) [7]. Сброс газового конденсата в водную среду составил 18,5 т с площадью загрязненного водного зеркала 7000 м², содержанием углеводородов в 2900 раз превышающим ПДК и толщиной их пленки от нескольких мм до 1,5 см. В том же году в районе пос. Тахтамукай (Республика Адыгея) в результате несанкционированной врезки в магистральный нефтепровод произошла утечка нефти, попавшая в оросительный канал, через который производится забор воды из р. Кубань

Р.А. Галиулина,
научный сотрудник
лаборатории
функциональной
экологии,
Учреждение
Российской
академии наук
Институт
фундаментальных
проблем биологии
РАН (ИФПБ РАН)

(бассейн Азовского моря) на рисовые поля [8]. На поверхности воды наблюдалась пленка углеводородов толщиной до 5 мм и их концентрация достигала 21 ПДК.

В 2006 г. в районе пос. Абриково (Дебесский район Удмуртской Республики) при производстве ремонтных работ по устранению несанкционированной врезки в магистральный нефтепровод произошел разлив нефти с загрязнением притока р. Чепца (бассейн р. Волга) до 18 ПДК ниже места аварии [9]. В том же году около дер. Тимирово (Туймазинский район Республики Башкортостан) произошел порыв на магистральном нефтепроводе с попаданием нефти в приток р. Усень (бассейн р. Волга) с уровнем загрязнения, составившим даже через несколько суток 56 ПДК [10]. В оз. Чертово, находящемся в черте г. Самара в результате несанкционированной врезки в нефтепровод вылилось около 5 т нефти, концентрация которой в воде оказалось свыше 100 ПДК [11]. В 2008 г. в районе с. Рубас (Дербентский район Республики Дагестан) в результате порыва на магистральном нефтепроводе в р. Рубас (бассейн Каспийского моря) попала нефть в объеме 100-150 т, содержание которой в устье реки достигло более 100 ПДК [12]. В 2010 г. в г. Донецк (Ростовская область) на поверхности р. Большая Каменка (бассейн р. Северский Донец) было зафиксировано нефтяное пятно протяженностью около 4,5 км, образовавшееся в результате утечки углеводородов из проходящего по дну реки нефтепровода, поврежденного вследствие несанкционированной врезки [13].

Следует отметить, что аварийные ситуации, как правило, создаются неожиданно и развиваются стремительно с попаданием одновременно больших количеств углеводородов в водную среду и поэтому возникает риск ее загрязнения, проявляемый в виде негативного воздействия данных химических веществ на гидробионты и пищевые цепи человека.

Риск загрязнения водной среды углеводородами. Известно, что водная среда является местом обитания очень большого числа различных гидробионтов, в том числе ихтиофауны. Вместе с тем, вода – необходимый компонент жизни и всех видов наземных организмов и человека. В этой связи важно представлять риск негативного воздействия углеводородов на ихтиофауну и также на такие пищевые цепи, как «вода-человек» и «рыбная продукция-человек». Известно, что рыба на ранних стадиях жизни (икра и личинки) более чувствительна к воздействию нефти, чем взрослые особи рыбы, и

поэтому часть ихтиофауны может погибнуть при соприкосновении с экстремально высокими концентрациями нефти [14]. Однако при аварийном загрязнении водной среды углеводородами смертельному риску подвержены и взрослые особи рыб. Так, например, экологическим следствием аварийного разлива нефти в приток р. Самара (бассейн р. Волга) явилось обнаружение там погибшей рыбы [6]. Согласно [1], при концентрации углеводородов в воде выше $0,10 \text{ г/м}^3$ портятся ее вкусовые качества, а при $0,08-0,10 \text{ г/м}^3$ мясо рыбы приобретает неприятный привкус. Не случайно ПДК углеводородов в воде установлена по лимитирующему органолептическому показателю вредности, характеризующему изменение запаха, привкуса и пищевой ценности воды под действием данных химических веществ. Исследования [15], проведенные в юго-восточной части Азовского моря, установили факт накопления парафинов, нафтеновых и ароматических углеводородов в мышцах, печени и гонадах промысловых рыб – судака, осетра и сельди. В особях судака с патологией крови и печени концентрации полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), входящих в состав нефти, в мышцах, печени и гонадах были в 1,6-2,0 раза выше, чем в особях с отсутствием выраженной патологии. Здесь концентрации ПАУ в рыбе рассчитывались в единицах бенз(а)пирена, известного канцерогенного вещества. Исследования [16], проведенные в районе побережья Каспийского моря (Республика Дагестан), показали, что высокие концентрации углеводородов в рыбной продукции могут выступать как фактор возникновения злокачественных новообразований в организме человека.

Как видно из вышеизложенного, загрязнение водной среды углеводородами представ-

ляет серьезную опасность для ихтиофауны и человека. Между тем, анализ литературы показал, что проблема аварийных разливов углеводородов в водную среду решается путем принятия соответствующих профилактических и ремедиационных мер.

Профилактические меры по предупреждению аварийных разливов углеводородов в водную среду. Как следует из вышеприведенных примеров, определенная часть аварийных разливов углеводородов происходила в результате несанкционированных врезок в трубопроводы с целью хищения их перекачиваемого содержимого, что наносит не только значительный материальный ущерб компаниям, эксплуатирующим трубопроводы, но и загрязняет водную среду с серьезными экологическими последствиями. Для предотвращения подобных инцидентов необходима надежная система непрерывного дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек и охраны [17]. В настоящее время на трубопроводах эксплуатируются системы, работа которых основана на различных физических принципах: 1) акустические системы, регистрирующие в соответствующем диапазоне частот волны, сформированные утечками, 2) параметрические системы, основанные на измерении давления и расхода продукта перекачки и др. Анализ технических характеристик вышеуказанных систем показывает, что они обеспечивают регистрацию крупных утечек, сопровождающихся падением давления, и имеют предел чувствительности, который составляет около 1 % производительности трубопровода. При этом утечки с низкой интенсивностью (менее 1 %), характерные для несанкционированных врезок, такие системы не регистрируют.



Между тем, недавно на действующих трубопроводах были проведены комплексные испытания новой системы мониторинга технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек и охраны, получившей название «Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов» (ИСМТ) [17]. В данной системе используется метод регистрации инфразвуковых колебаний, которые распространяются внутри трубопровода на расстояния до нескольких сотен километров. Благодаря слабому затуханию инфразвуковых волн эта система способна обнаружить утечку из трубопровода, механическое воздействие на стенку трубы, а также источники «шума», формирующиеся на значительном удалении от места его регистрации. ИСМТ состоит из модулей регистрации (инфразвуковые антенны), модулей обработки (многофункциональные высокопроизводительные контроллеры), компьютера управления, программного обеспечения и канала связи. Данная система осуществляет:

- 1) постоянный дистанционный контроль состояния трубопровода в режиме реального времени;
- 2) регистрацию утечки (в течение 1-2 мин.), в том числе с низкой интенсивностью (0,04 % производительности трубопровода);
- 3) охрану трубопровода в режимах регистрации механических воздействий (в течение 1-2 мин), подъезда автотранспорта и подхода людей;
- 4) определение местоположения движущихся или остановившихся внутритрубных устройств (с периодичностью локации 5 мин.);
- 5) регистрацию механических дефектов трубопровода в виде геометрических изъянов его стенки и т.д.

Следует отметить, что несанкционированные врезки в трубопроводы, как правило, производят с применением приспособлений (трубы, запорная арматура) из несертифици-



рованных материалов, которые не рассчитаны на действующее давление и перекачиваемое содержимое [18]. Поэтому в любой момент возможно разрушение или поломка приспособлений из таких материалов, приводящее к неконтролируемому выбросу углеводородов и возникновению аварийной ситуации. Именно по этой причине, при производстве ремонтных работ по устранению несанкционированной врезки в трубопровод в Удмуртской Республике, произошел разлив нефти с загрязнением водного объекта в бассейне р. Волга [9]. Между тем согласно [18], при обнаружении несанкционированной врезки ее оперативно можно устранить посредством установки специальных защитных конструкций, прошедших гидравлические испытания и позволяющих не выводить из эксплуатации трубопроводы до проведения плановой остановки и вырезки поврежденного участка. Защитные конструкции могут быть различного исполнения, что зависит от вида врезки и ее местоположения относительно кольцевого и продольного швов трубопровода. Так, например, если сварные стыки не позволяют установить защитную конструкцию с усиливающейся накладкой, то применяются конструкции в виде обжимной муфты.

Ремедиационные меры по ликвидации экологических последствий аварийных разливов углеводородов в водную среду. Как известно, количество аварийных ситуаций нельзя планировать, а избежать их практически полностью невозможно, и поэтому закономерно возникает задача ликвидации экологических последствий разливов углеводородов в водную среду. К числу ремедиационных мер по ликвидации данных последствий следует отнести:

- 1) установку боновых (плавающих) заграждений, имеющих различные модификации (постоянной плавучести, надувные, приливные, всплывающие и др.), изготавливаемые из специальной ткани, обладающей высокой прочностью и стойкостью к воздействию углеводородов и служащих для ограничения распространения их пленки по поверхности воды и способствующих их концентрированному сбору, а также использование сорбентов (торфяной бертинат – обезвоженный торф, аэросил – пирогенная двуокись кремния, бутадienstирольный каучук и др.), упрощающих и ускоряющих процедуру механического удаления углеводородов с водного зеркала [19];

- 2) применение углеводородокисляющих биопрепаратов, представляющих собой лиофильно высушенную (при низкой темпе-

ратуре и в вакууме) биомассу активных штаммов, главным образом бактерий, использующих углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии [20]. В состав биопрепаратов входят азотно-фосфорные соединения для стимулирования роста численности микроорганизмов, а также нейтральный сорбент, обладающий плавучестью для удерживания бактерий на поверхности углеводородной пленки.

Так, в вышеописанных примерах для ликвидации последствий аварийных разливов нефти и газового конденсата использовались боновые заграждения на различных водных объектах бассейнов рек Урал [7] и Волга [6, 9, 10], Каспийского [12] и Азовского морей [8] и применялись сорбенты в одном из водных объектов бассейна р. Обь [5]. Однако установка боновых заграждений не всегда приводит к желаемому эффекту. Так, в случае аварийного разлива нефти в р. Рубас вследствие сильного шторма был отмечен выход углеводородов из-под боновых заграждений в Каспийское море и их распространение вдоль морского побережья [12].

Между тем считается, что уровень загрязнения воды углеводородами, соответствующий их пленке толщиной до 1 мм уже не позволяет использовать водные объекты для хозяйственных целей [20]. Именно при таком уровне загрязнения воды в результате аварийных разливов нефти и газового конденсата возможно применение углеводородокисляющих биопрепаратов. Примером последнего является вышеописанный случай, имевший место в Оренбургской области, когда ликвидация экологических последствий аварийного разлива газового конденсата в протоку, соединяющую 2 водных объекта – озеро и реку (бассейн р. Урал), производилась следующим образом [7]. Первоначально с помощью установки боновых заграждений был осуществлен сбор углеводородов из воды, а изолированный дамбами проток обрабатывался минеральными (аммофос, калий аммофос и диаммофос) и органическими (гуматы) удобрениями с целью активизации естественных углеводородокисляющих микроорганизмов. Собственно микробиологическая очистка протоки производилась с помощью биопрепарата «Деворойл», обладающего высокой адаптационной способностью к окислению углеводородов данного типа газового конденсата. В ходе проведенной работы была удалена основная масса газового конденсата, т.е. концентрация углеводородов в воде протоки за 1,5 мес. воздействия биопрепарата снизилась до 1,2-2,0 ПДК.



Заключение

Таким образом, аварийные разливы углеводородов, характеризующиеся экстремально высоким загрязнением водной среды (до сотен и тысяч ПДК) и негативным влиянием на ихтиофауну и пищевые цепи человека, относятся к числу чрезвычайно опасных инцидентов. В настоящее время аварийные разливы углеводородов, в частности, вследствие несанкционированных врезок в трубопроводы могут быть предупреждены путем внедрения принципиально новой системы мониторинга технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек и охраны. Ликвидация экологических последствий аварийных разливов углеводородов в водную среду может быть осуществлена посредством применения углеводородокисляющих биопрепаратов.

Литература

1. Сверлова Л.И. Загрязнение природной среды и экологическая патология человека / Л.И. Сверлова, Н.В. Воронина. Хабаровск: ООП ККГС. 2001. 216 с.
2. Алексеева Т.А. Проблемы защиты водной среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами / Т.А. Алексеева, Л.М. Масаева // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 5. С. 21-24.
3. Российская газовая энциклопедия. М.: Большая Российская энциклопедия, 2004. 527 с.
4. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в марте 2003 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, Б.С. Летников // Метеорология и гидрология. 2003. № 6. С. 96-101.
5. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в декабре 2003 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, Б.С. Летников // Метеорология и гидрология. 2004. № 3. С. 105-109.
6. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в октябре 2004 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, Б.С. Летников // Метеорология и гидрология. 2005. № 1. С. 108-113.
7. Гендель Г.Л. Особенности проведения работ по очистке земель, нарушенных и загрязненных в результате аварии на конденсатопроводе / Г.Л. Гендель, И.Е. Клейменова, А.А. Донецкова, Н.Г. Беликова, И.Б. Ивановская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 6. С. 66-69.

8. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в августе 2005 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, И.А. Асташкина // Метеорология и гидрология. 2005. № 11. С. 103-108.
9. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в январе 2006 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, И.Н. Сегида // Метеорология и гидрология. 2006. № 4. С. 109-114.
10. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в марте 2006 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, И.Н. Сегида // Метеорология и гидрология. 2006. № 6. С. 111-116.
11. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в апреле 2006 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, И.Н. Сегида // Метеорология и гидрология. 2006. № 7. С. 109-114.
12. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в феврале 2008 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, А.Б. Иванов // Метеорология и гидрология. 2008. № 5. С. 103-107.
13. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в марте 2010 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, А.Б. Иванов // Метеорология и гидрология. 2010. № 6. С. 101-107.
14. Ахмедова Г.А. Оценка экологического воздействия на акваторию моря в связи со строительством поисковой скважины структуры Центральная на лицензионном участке в российском секторе Среднего Каспия / Г.А.

Ключевые слова:

водная среда,
нефть,
газовый конденсат,
аварийные разливы,
риск,
профилактические
и ремедиационные
меры

- Ахмедова, С.Ю. Штунь, С.А. Гусейнова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 8. С. 5-9.
15. Кленкин А.А. Загрязнение приоритетными токсикантами промышленных рыб юго-восточной части Азовского моря / А.А. Кленкин, И.Г. Корпакова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 9. С. 39-46.
16. Гасангаджиева А.Г. Загрязнение побережья Каспийского моря нефтяными углеводородами и тяжелыми металлами и заболеваемость населения Северного Дагестана злокачественными новообразованиями / А.Г. Гасангаджиева, Г.М. Абдурахманов, П.И. Габибова, П.М. Даниялова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 11. С. 77-79.
17. Супрунчик В.В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 6. С. 51-54.
18. Шепинов Д.Н. Защитные конструкции для предотвращения аварий трубопроводов в местах несанкционированных врезок / Д.Н. Шепинов, А.А. Бауэр, В.М. Кушнаренко, Ю.А. Чирков // Территория НЕФТЕГАЗ. 2010. № 11. С. 70-74.
19. Куликова И.Ю. Современные технологии очистки почвенных территорий и водных акваторий от нефтяного загрязнения / И.Ю. Куликова, И.С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 5. С. 72-75.
20. Коронелли Т.В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводородов в окружающей среде (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32. № 6. С. 579-585.



R.V. Galiulin, V.N. Bashkin, R.A. Galiulina

POLLUTION OF WATER ENVIRONMENT BY HYDROCARBONS: RISK, PREVENTION AND REMEDIATION

Data on the most considerable emergency floods of hydrocarbons (oil and gas condensate) to water environment in various regions of the country have been presented. The risk of water environment pollution by

hydrocarbons has been proved. The prevention and remediation measures on warning of emergency floods of hydrocarbons to water environment and liquidation of their consequences are described.

Key words: water environment, oil, gas condensate, emergency floods, risk, prevention and remediation measures

