

УДК 502.36

В.Н. Башкин, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», e-mail: V_Bashkin@vniigaz.gazprom.ru; **Р.В. Галиулин**, д.г.н., ведущий научный сотрудник, e-mail: rauf-galiulin@rambler.ru; **Р.А. Галиулина**, научный сотрудник, Институт фундаментальных проблем биологии РАН

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ВРЕЗОК В ТРУБОПРОВОДЫ

Одной из существенных причин аварийных разливов углеводородов (нефти и газового конденсата) в нефтегазовой отрасли страны являются несанкционированные (криминальные) врезки в трубопроводы с целью хищения их перекачиваемого содержимого. Подобного рода врезки наносят значительный материальный ущерб компаниям, эксплуатирующим трубопроводы, а также приводят к крупномасштабному загрязнению различных компонентов окружающей среды – почвы, поверхностной и подземной воды.

Цель настоящей работы состояла в анализе, систематизации и обобщении информации, касающейся решения проблемы несанкционированных врезок в трубопроводы.

Логика указанной проблемы требовала изложения данной информации в следующей последовательности (рис. 1):

- 1) представить масштабы наиболее значительных аварийных разливов углеводородов в результате несанкционированных врезок в трубопроводы за последнее время в отдельных регионах страны и обосновать их геоэкологические последствия;
- 2) охарактеризовать риск токсического воздействия углеводородов на человека;
- 3) описать профилактические меры по защите трубопроводов от несанкционированных врезок;
- 4) представить ремедиационные меры по ликвидации геоэкологических последствий аварийных разливов углеводородов на почвенный покров.

АВАРИЙНЫЕ РАЗЛИВЫ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ВРЕЗОК В ТРУБОПРОВОДЫ И ИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Анализ опубликованных работ по исследуемой теме показал, что аварийные разливы, в частности нефти в результате несанкционированных врезок в трубопроводы, за последнее время в отдельных регионах страны характеризовались максимальным количеством до 30 т и наибольшей площадью загрязнения почвы до 13,5 га, в то время как газового конденсата – соответственно около 145 м³ и 4,5 га [1–3]. Что касается геоэкологических последствий аварийных разливов углеводородов на почву, то они заключаются не только в загрязнении последней, но и в возникновении опасности поступления данных химических веществ из почвы в поверхностные и подземные воды в результате их миграции соответственно поверхностным и внутрипочвенным стоками. Так, по наблюдениям [4], в условиях земляного

амбара, предназначенного для захоронения разлившейся нефти, в профиле иловато-глеевой почвы (зона влажных субтропиков) было отмечено возникновение мощного внутрпочвенного потока углеводородов,двигающегося к месту разгрузки грунтовых вод. При этом верхняя граница потока прослеживалась на глубине 50–60 см, а нижняя – смыкалась с зеркалом грунтовых вод на глубине около 150 см. Следует отметить, что постоянное использование природных вод, загрязненных углеводородами, для питьевых целей чревато тяжелыми последствиями для здоровья человека. Согласно [5], существенную роль, в частности в возникновении рака пищевода, играет загрязнение природных вод нефтью, как известно, содержащей полициклические ароматические углеводороды, в том числе канцерогенное вещество – бенз(а)пирен (C₂₀H₁₂). Между тем особую опасность представляют аварийные разливы углеводородов на сельскохозяйственные угодья, в которых, по данным [6, 7], макси-

мальное количество попавшей нефти достигало около 500 м³, а наибольшая площадь загрязнения составляла 10 га. При загрязнении углеводородами земли надолго выводятся из сельскохозяйственного оборота, если не предпринимать соответствующие ремедиационные меры для их восстановления.

Как известно, аварийные ситуации создаются неожиданно и развиваются стремительно с попаданием одновременно больших количеств углеводородов на почвенный покров, и поэтому возникает риск их токсического воздействия на человека, случайно оказавшегося в зоне инцидента.

РИСК ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ЧЕЛОВЕКА

Известно, что нефть представляет собой сложную смесь органических соединений, главным образом углеводородов – метановых соединений, C_nH_{2n+2}; циклопарафинов, C_nH_{2n}; ароматических соединений (гомологов бензола), C_nH_{2n-6}; многоядерных полинафтеновых и ароматических соединений, содержащих различные боковые цепи [8]. В нефть также входят небольшие количества соединений, содержащих серу, кислород и азот, а также минеральные вещества. Токсическое воздействие на человека углеводородов – метана и его ближайших гомологов, составляющих основную массу нефтяного попутного газа (вещества, растворенного в нефти при пластовых условиях), – сравнительно слабое. Значительно сильнее действуют пары жидких составных частей нефти, которые и определяют характер негативного влияния сырой нефти. Так, нефть, содержащая мало ароматических углеводородов, действует так же, как смеси метановых и нафтеновых углеводородов, т.е. их пары вызывают наркоз и судороги. Высокое содержание ароматических углеводородов может угрожать хроническими интоксикациями с патологическими изменениями в крови и кроветворных органах. Что касается сернистых соединений нефти, то они являются причиной острых и хронических отравлений. При этом главную роль играет сероводород (H₂S), как раздражающий и удушающий газ. Так, мгновенные отравления летучими соединениями сернистой нефти про-



Рис. 1. Решение проблемы аварийных разливов углеводородов в результате несанкционированных врезок в трубопроводы

исходят при концентрации сероводорода 0,55–0,63 мг/л и углеводородов 15–20 мг/л.

Газовый конденсат представляет собой смесь жидких углеводородов (пентан, C₅H₁₂ + высшие гомологи), которая выделяется из природных газов при эксплуатации газоконденсатной залежи в результате снижения пластовых давлений и температуры [9]. Так называемый сырой (нестабильный) конденсат, доставляемый потребителю с помощью специальных конденсатопроводов под собственным давлением, – это жидкие углеводороды, в которых растворены газовые углеводороды и неуглеводородные компоненты [10]. Газовый конденсат от нефти отличается меньшей плотностью и низким содержанием гетероатомных соединений (смолы и асфальтены). Ввиду того что газовый конденсат в основном состоит из бензиновых и керосиновых компонентов, его токсикологические свойства могут быть оценены по характеристикам данных веществ. Так, при очень высоких концентрациях паров, в частности бензина в воздушной среде (0,5–1,6%), возможно молниеносное отравление человека, приводящее к потере со-

знания и смерти вследствие отека легких [8]. Токсическое воздействие другого компонента газового конденсата – керосина сходно с бензином. Кроме острой и хронической интоксикации человека парами бензина или керосина особо следует отметить факт их влияния на возникновение рака почки и мочевого пузыря [11]. Исследования показали статистически значимый риск онкологического заболевания при длительном контакте с названными веществами. При этом смертность от рака мочевых органов продолжает занимать одно из ведущих мест в структуре онкологической летальности.

Между тем анализ литературы показал, что проблема аварийных разливов нефти и газового конденсата вследствие несанкционированных врезок в трубопроводы, приводящих к значительному загрязнению почвенного покрова и токсическому воздействию на человека, может решаться путем заблаговременного принятия профилактических мер и оперативного использования для ликвидации геозэкологических последствий аварийных инцидентов – ремедиационных мер.

ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРЫ ПО ЗАЩИТЕ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ВРЕЗОК

Для предотвращения аварийных разливов углеводородов вследствие несанкционированных врезок в трубопроводы необходима надежная система непрерывного дистанционного контроля их технического состояния с функциями обнаружения утечек и охраны [12]. В настоящее время на трубопроводах эксплуатируются системы, работа которых основана на различных физических принципах: акустические системы, регистрирующие в соответствующем диапазоне частот волны, сформированные утечками, а также параметрические системы, основанные на измерении давления и расхода продукта перекачки и т.д. 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. Однако утечки с низкой интенсивностью (менее 1%), характерные для несанкционированных врезок, такие системы не регистрируют.

Между тем в 2006–2007 гг. 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) [12]. В данной системе используется метод регистрации инфразвуковых колебаний, которые распространяются внутри трубопровода (по крайней мере, с жидкими продуктами) 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, осуществляют с применением приспособлений (трубы, запорная арматура) из несертифицированных материалов, которые не рассчитаны на действующее давление и перекачиваемое содержимое [13]. Поэтому в любой момент возможно разрушение или поломка приспособлений из таких материалов, приводящие к неконтролируемому выбросу углеводородов и возникновению аварийной ситуации. Между тем при обнаружении несанкционированной врезки можно ее оперативно устранить посредством установки специальных защитных конструкций, успешно 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 применяется конструкция в виде обжимной муфты.

РЕМЕДИАЦИОННЫЕ МЕРЫ ПО ЛИКВИДАЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

Как известно, количество аварийных инцидентов, возникающих по различным причинам, в том числе и в результате несанкционированных врезок в трубопроводы, нельзя планировать, а избежать их на 100% практически не-

возможно, и поэтому непременно встает задача оперативной ликвидации геоэкологических последствий аварийных разливов углеводородов на почвенный покров. Между тем считается, что уровень загрязнения земель углеводородами уже в 5% от массы почвы (50 г/кг) не позволяет их использовать для сельскохозяйственных целей [14]. Именно при таком уровне загрязнения земель в результате аварийных разливов нефти и газового конденсата возможно использование микробиологического подхода, связанного с внесением в загрязненную почву биопрепаратов или биокомпостов [15]. Биопрепараты представляют собой высушенную лиофилизацией (при низкой температуре и в вакууме) биомассу микроорганизмов, а биокомпосты – это композиции, получаемые путем ускоренной ферментации торфопометной или торфонавозной смесей, обогащенных микрофлорой и питательными веществами.

Так, в исследованиях [15] оценивалось микробиологическое разложение нефти (50 и 100 г/кг) в образце иллювиального горизонта (слой 50–90 см) серой лесной почвы (лиственно-лесная зона) с помощью биопрепарата «Биорос» и биокомпоста «Пикса». Как оказалось, с повышением содержания нефти в почве контрольного варианта, т.е. без добавления вышеуказанных ремедирующих средств, время практически полного разложения ее углеводородов (на 99%, T_{99}) возрастает в 3,5 раза, или до 3,2 лет (табл. 1). Здесь T_{99} рассчитывался по экспоненциальной зависимости: $y = e^{-kt}$, где y – остаточное содержание углеводородов на время t , отнесенное к исходному (y_0); e – основание натурального логарифма; k – константа скорости разложения углеводородов. Соответствующая формула для расчета выглядит так: $T_{99} = \ln 100/k$, где $k = \ln(y_0/y)/t$.

Однако при внесении различных доз биопрепарата (0,1–2,0 г/кг) и биокомпоста (50–200 г/кг) в почву время разложения нефти при ее концентрации 50 г/кг сокращается относительно контроля соответственно в 1,9–5,4 и 1,8–5,4 раза, при концентрации 100 мг/кг – в 2,2–3,0 и 1,7–7,2 раза. Данные исследования подтвердили высокую эффективность микробиологического подхода при ликвидации геоэкологических последствий

Таблица 1. Время практически полного микробиологического разложения (на 99%, T₉₉) углеводородов нефти в образце иллювиального горизонта (слой 50–90 см) серой лесной почвы (лиственно-лесная зона) под действием биопрепарата «Биорос» и биокомпоста «Пикса»

Вариант	T ₉₉ , сут.	Вариант	T ₉₉ , сут.
Нефть, 50 г/кг (контроль)	329	Нефть, 100 г/кг (контроль)	1150
Нефть, 50 г/кг + биопрепарат, 0,1 г/кг	171	Нефть, 100 г/кг + биопрепарат, 0,1 г/кг	512
Нефть, 50 г/кг + биопрепарат, 0,5 г/кг	61	Нефть, 100 г/кг + биопрепарат, 0,5 г/кг	384
Нефть, 50 г/кг + биопрепарат, 2,0 г/кг	159	Нефть, 100 г/кг + биопрепарат, 2,0 г/кг	461
Нефть, 50 г/кг + биокомпост, 50 г/кг	184	Нефть, 100 г/кг + биокомпост, 50 г/кг	658
Нефть, 50 г/кг + биокомпост, 100 г/кг	69	Нефть, 100 г/кг + биокомпост, 100 г/кг	288
Нефть, 50 г/кг + биокомпост, 200 г/кг	61	Нефть, 100 г/кг + биокомпост, 200 г/кг	159

аварийных разливов углеводородов на почвенный покров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, аварийные разливы углеводородов в виде нефти и газового конденсата, вследствие несанкционированных врезок в трубопроводы, характеризующиеся крупномасштабным загрязнением земель, в том числе и сельскохозяйственного использова-

ния, а также токсическим воздействием на человека, относятся к числу чрезвычайно опасных инцидентов. В настоящее время эта проблема может решаться путем заблаговременного принятия профилактических мер, в частности внедрения в практику принципиально новой системы непрерывного дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек и охраны – инфразвуковой системы

мониторинга трубопроводов. Что касается оперативной ликвидации геоэкологических последствий аварийных разливов нефти и газового конденсата, то основным путем ремедиации загрязненных земель является микробиологический подход, осуществляемый посредством внесения в почву биопрепаратов или биокомпостов, выбор которых будет определяться по соотношению «цена – ремедиационный эффект».

Литература:

1. Ованесянц А.М., Красильникова Т.А., Асташкина И.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июле 2005 г. // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 10. – С. 107–112.
2. Ованесянц А.М., Красильникова Т.А., Летников Б.С. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в январе 2003 г. // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 4. – С. 113–118.
3. Гендель Г.Л., Клейменова И.Е., Донецкова А.А., Беликова Н.Г., Ивановская И.Б. Особенности проведения работ по очистке земель, нарушенных и загрязненных в результате аварии на конденсатопроводе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2006. – № 6. – С. 66–69.
4. Пиковский Ю.И., Веселовский В.А., Вшивцев В.С., Эрнестова Л.С., Бия Л.А. Геохимическое и экологическое изучение нефтяных потоков в зоне влажных субтропиков // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – С. 64–69.
5. Гасангаджиева А.Г., Абдурахманов Г.М., Габимова П.И., Даниялова П.М. Загрязнение побережья Каспийского моря нефтяными углеводородами и тяжелыми металлами и заболеваемость населения Северного Дагестана злокачественными новообразованиями // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2006. – № 11. – С. 77–79.
6. Ованесянц А.М., Красильникова Т.А., Сегидя И.Н. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июне 2006 г. // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 9. – С. 99–105.
7. Ованесянц А.М., Красильникова Т.А., Летников Б.С. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июне 2004 г. // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 9. – С. 98–103.
8. Вредные вещества в промышленности. Органические вещества. – Л.: Химия, 1976. – Т. I. – 592 с.
9. Российская газовая энциклопедия. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2004. – 527 с.
10. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – Т. 1. – 560 с.
11. Журкина О.В. Роль экзогенных факторов риска в развитии рака почки // Известия Самарского научного центра РАН. – 2007. – № 2. – С. 30–34.
12. Супрунчик В.В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – № 6. – С. 51–54.
13. Шелинов Д.Н., Бауэр А.А., Кушнарченко В.М., Чирков Ю.А. Защитные конструкции для предотвращения аварий трубопроводов в местах несанкционированных врезок // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2010. – № 11. – С. 70–74.
14. 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.
15. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Башкин В.Н., Аكوпова Г.С., Листов Е.Л., Балакирев И.В. Сравнительная оценка разложения углеводородов газового конденсата и нефти в почве под действием биологических средств // Агрехимия. – 2010. – № 10. – С. 52–58.

Ключевые слова: трубопроводы, несанкционированные врезки, нефть, газовый конденсат, аварийные разливы, геоэкологические последствия, риск воздействия, профилактические и ремедиационные меры.