

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 55:57(069)

В.В. ПЕНДИН, С.Д. ГАНОВА

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ**

Рассмотрено воздействие объектов транспорта углеводородов на окружающую среду (ОС) в период строительства и эксплуатации сооружений в штатном режиме, а также при возникновении аварий на магистральных трубопроводах. Отмечены причины, усугубляющие последствия загрязнения углеводородами поверхностных и подземных вод, грунтов и атмосферного воздуха.

Проблема безопасности трубопроводного транспорта жидких и газообразных углеводородов актуальна в наше время. Только в 2002 г. организациями группы «Газпром» транспортированы по газопроводам 554,0 млрд. м³ газа, в систему «Транснефти» приняты 374,4 млн. т нефти. По магистральным трубопроводам подаются высокотоксичные продукты, способные при отказах и авариях возгораться и/или взрываться, в результате чего возможно загрязнение природной среды, возникновение угрозы безопасности населения, инженерных сооружений. Трубопроводные сети охватывают 35% территории страны, на которых проживают более 60% населения. Контакт населения с трубопроводными системами будет непрерывно расширяться, следовательно, возрастает риск опасного техногенного воздействия на людей и природные массивы. Трубопроводный транспорт углеводородов России — сложная техническая система, энергетические потоки которой по мощности и протяженности доставки нефти и газа потребителям не имеют аналогов в мировой практике. Например, суммарная производительность отдельных газовых коридоров достигает 250 млрд. м³. Средняя дальность транспортировки газа по сетям единой системы газоснабжения (ЕСГ) 2400 км при поставках российским потребителям и 3400 км на экспорт. Путь нефти, попадающей в систему «Транснефти», в среднем 2278 км, а грузооборот в 2002 г. достиг 353 млрд. т·км.

Кроме возможных аварий на магистральных трубопроводах и их воздействия на ОС возникает целый ряд сложных проблем, связанных с взаимодействием трубопроводов и природных комплексов, особенно в период строительства и эксплуатации сооружений.

При строительстве и эксплуатации объектов транспорта углеводородов источником воздейст-

вия на ОС могут быть перекачиваемые продукты (нефть, газ, нефтепродукты), продукты их сгорания, транспорт и строительно-монтажная техника, тепло транспортируемой по трубопроводу среды, сами сооружения. Специфика углеводородного загрязнения в том, что нефть и нефтепродукты не остаются на месте разлива, а интенсивно мигрируют и проникают в почву, грунты, растекаются по земной поверхности, попадают в водоемы, а при испарении — и в атмосферу. К настоящему времени накоплено достаточно данных, позволяющих довольно полно и однозначно определить характер воздействия на каждый компонент ОС и его последствия.

Утечки нефти и нефтепродуктов, возникающие при повреждении магистральных нефтепроводов, резервуаров, сливно-наливных операциях, приводят к загрязнению прилегающих грунтов. При поверхностной миграции (например, с дождевыми водами) и инфильтрации нефть и нефтепродукты загрязняют поверхностные и подземные воды. Утечки могут происходить на дневной поверхности и вне ее.

Нефтяное и нефтепродуктовое загрязнение поверхностных и подземных вод является одним из наиболее распространенных и опасных. Санитарными правилами СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения» выявлены приоритетные загрязнения, обнаруженные в подземных водах в зонах влияния различных объектов. В частности, в районах расположения трубопроводов выделены нефтепродукты и СПАВ в концентрациях, превышающих гигиенические нормы.

Показатель данного загрязнения гидросферы — растворимость нефти и нефтепродуктов в воде, зависящая от соотношения углеводородов (алифатических (метановых), циклических насыщенных

(нафтеновых), циклических ненасыщенных (ароматических) и их производных, серы, азота и кислорода.

При ограниченных утечках из поверхностных источников жидкие скопления легких углеводородов над уровнем грунтовых вод принимают квазистабильное положение, образуя линзы, мощность которых обратно пропорциональна размеру минеральных зерен (в мелкозернистых песках ≈ 2 м). Горизонтальное распространение скоплений определяется скоростью грунтового потока (в мелкозернистых песках — несколько десятков метров).

Тяжелые углеводороды при достаточно больших объемах поступления в горизонт подземных вод образуют жидкие скопления у подошвы водоносного пласта или на промежуточных водоупорах. При попадании загрязняющей жидкости в слабопроницаемую горизонтальную зону при низком давлении имеет место горизонтальный отток до тех пор, пока нефтяное загрязнение не достигнет какой-либо субвертикальной зоны микронеоднородности. Вертикальное внедрение углеводородов будет проявляться в виде языков, которые в свою очередь могут постепенно развиваться в латеральном направлении и смыкаться один с другим. Аналогичный характер миграции нефтепродуктов по трещиноватым породам. В конечном итоге это приводит к тому, что углеводороды распространяются на большую площадь.

Распространение нефтепродуктового загрязнения за пределы локальной области его первоначального возникновения практически полностью обусловлено перемещениями загрязненных подземных вод в первом от земной поверхности водоносном горизонте: плановым движением потоков вод, их разгрузкой в местные водотоки и водоемы, возможным перетоком в нижележащий водоносный горизонт, естественными и техногенными повышениями уровня грунтовых вод. Следовательно, наиболее опасно для ОС и хозяйственной деятельности загрязнение нефтепродуктами горизонта грунтовых вод.

Что касается концентраций углеводородов в собственно подземных водах, то концентрации достаточно малы, но все же необходимо учитывать, что углеводороды частично растворяются в воде и находятся в ней в формах, которые являются токсичными т. е., наиболее опасными. При этом они мигрируют с грунтовыми водами на большие расстояния, загрязняя поверхностные воды и глубокие горизонты подземных вод.

Миграция нефти и нефтепродуктов в водной среде осуществляется в пленочной, эмульгированной и растворенной формах, а также в виде нефтяных агрегатов. При попадании нефти в воду сразу же образуется поверхностная пленка, которая подвергается множеству физических, химических и механических процессов. Это прежде всего растекание, испарение, эмульгирование, растворение, окисление, биодegradация и седиментация. Учитывая все возрастающие масштабы нефтяного загрязнения и плотность его распределения в водах, природоохранную задачу можно решить при исследовании самоочищающей способности воды [2].

Переходы магистральных трубопроводов через водные преграды в подавляющем большинстве выполняются подводным способом, что предполагает значительный объем земляных работ, в результате которых увеличивается концентрация взвешенных минеральных частиц грунта в воде на участках в несколько километров. Вторично водоем подвергается загрязнению при обратной засыпке траншеи, которую осуществляют путем рефулирования грунта земснарядами с использованием плавучих транспортных средств. При этом часть грунта сносятся течением и загрязняет нижележащие участки водоема.

На реках в зоне распространения мерзлых грунтов при незначительных уклонах русел рек наблюдается длительное стояние высоких паводковых вод. Скорость воды в этот период возрастает в несколько раз, а высота паводковых вод достигает нескольких метров. Это приводит к тому, что береговые участки, сложенные слабосцементированными грунтами — суглинками, супесями, сравнительно легко размываются потоком воды. При продолжительном высоком паводке происходит водонасыщение береговых участков и обеспечивается устойчивость (особенно крутых) берегов за счет подпора воды. Однако при спаде воды в конце паводка такие участки береговых склонов обрушиваются и интенсивно размываются. Кроме того, усиленному размыву береговых участков подводных трубопроводов способствуют мощные ледоходы.

Основные источники загрязнения рек и водоемов нефтью при транспортировке ее по магистральным трубопроводам — аварийные утечки при отказах подводных переходов, нарушения гидроизоляционного покрытия и коррозия.

Однако основную опасность для водоемов представляют залповые выбросы при нарушении герметичности подводных трубопроводов. Взаимодействие нефти и воды характеризуется сложными физико-химическими процессами, протекающими с различной интенсивностью на разных стадиях формирования нефтяного загрязнения. При авариях концентрация нефти и нефтепродуктов в воде может достигать 200—300 мг/л. Аварии на промышленных нефтепроводах происходят значительно чаще (в 5—6 раз), чем на магистральных. Это случается из-за большей протяженности промысловых нефтепроводов, а также потому, что их трубы подвержены внутренней коррозии из-за воздействия перекачиваемой по ним агрессивной водогазо-нефтяной эмульсии.

Масштаб загрязнения поверхностных водных объектов определяется в основном процессами растекания и испарения. При попадании на поверхность воды нефть растекается тонким слоем мощностью от нескольких сантиметров до мономолекулярной пленки. Начальный период формирования нефтяного пятна определяется силами гравитации, а последующие стадии — поверхностным натяжением. На различных стадиях растекания противодействуют силы инерции и вязкого трения, причем инерционная составляющая преобладает в начальный период растекания.

Гравитационная составляющая пропорциональна разности плотностей воды и нефти, толщине слоя нефти и градиенту толщины. Силы инерции

зависят также от плотности воды, толщины пленки и ускорения частиц нефти при растекании. Сила поверхностного натяжения представляет собой результирующую сил поверхностного натяжения на границах вода—нефть, нефть—воздух и вода—воздух. Силы трения обуславливаются вязкостью нефти и зависят от ее кинематической вязкости и скорости движения. Площадь загрязнения при растекании 1 т нефти может составить 20—30 км².

Допустимый уровень загрязненности поверхностных вод определяется гигиеническими нормами ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», в соответствии с которыми величина ПДК нефти 0,3 мг/л, нефти много-сернистой 0,1 мг/л.

Исходя из вышеприведенного ясно, что практически любая авария подводного нефтепровода может привести к утрате водоема как объекта одного или нескольких видов водопользования.

По степени загрязненности воды и ожидаемым последствиям различают четыре категории загрязнения (таблица).

Классификация нефтяного загрязнения водоемов (по ВНИИОРХу)

Степень загрязнения	Характеристика загрязнения	Содержание нефти в воде, мг/л
Слабая	Нефтяная пленка отсутствует, привкус слабый, запах не ощущается. Загрязнение не оказывает влияния на газовый режим, минерализацию, окисляемость и биохимическое потребление кислорода (БПК) воды.	<1
Средняя	Вода с запахом и привкусом нефти, поверхность покрыта отдельными нефтяными пленками. Влияние на газовый режим, минерализацию, окисляемость и БПК воды незначительно или не наблюдается.	1—10
Сильная	Вода с запахом и привкусом нефти, отдельные участки ее поверхности покрыты нефтяной пленкой. Наблюдаются изменения газового режима, минерализации, окисляемости и БПК воды.	10—30
Очень сильная	Вода с сильным запахом и привкусом нефти, поверхность ее покрыта сплошной нефтяной пленкой. Берега и растительность вымазаны нефтью или мазутом. Иногда дно покрыто тяжелыми фракциями нефти. Изменяются газовый режим, минерализация, окисляемость и БПК воды. Вода непригодна для водопользования.	>30

Влияние нефти и нефтепродуктов на водоем проявляется в ухудшении физических свойств воды (замутнение, изменение цвета, вкуса, запаха), отравлении воды токсическими веществами, образовании поверхностной пленки нефти, понижающей содержание кислорода, и осадка на дне водоема. Характерные запах и привкус наблюдаются при концентрации нефти и нефтепродуктов 0,5 мг/л воды. Значительно химические показатели воды изменяются при содержании нефти более 100—150 мг/л. Пленка нефти на поверхности водоема ухудшает газообмен воды с атмосферой, замедляет скорость аэрации (обогащение воды кислородом) и удаление углекислого газа; при концентрации нефти в воде 17 мг/л количество растворенного кислорода за 20—25 сут. понижается на 40%.

Изложенное позволяет отметить следующие причины, усугубляющие последствия загрязнения нефтью рек и водоемов холодных регионов.

Во-первых, возможность нарушения предельно напряженного кислородного баланса в результате биохимического окисления нефти, что может привести к гибели обитателей водоема. Во-вторых, низкая скорость биохимического окисления при низких температурах значительно увеличивает продолжительность отрицательного (химического, физического, отравляющего) воздействия нефтяного загрязнения. В-третьих, рыба, зимующая в небольших непромерзших участках реки (зимовальных ямах), в условиях острого недостатка кислорода может полностью погибнуть [5].

Тяжелые фракции нефти не разлагаются и не осаждаются в морской воде. Они образуют с ней стойкие эмульсии, чему способствует присутствие в водоемах взвешенных органических частиц, бактерий и планктона. Со временем эмульсии коагулируют с образованием смолистых сгустков, которые плавают на поверхности воды и выбрасываются приливом на сушу, загрязняя побережья, пляжи, портовые сооружения. Скорость процессов химического окисления нефти в морской среде составляет всего 10—15% скорости биохимического окисления. Особенно опасны попадания больших объемов нефти в воды высоких широт. При низких температурах разложение нефти идет еще медленнее и нефть, сброшенная в арктические моря, может сохраняться до 50 лет, нарушая нормальную жизнедеятельность водных биоценозов.

Биохимическое разложение основной массы разлитой нефти протекает очень медленно, так как в природе не существует какого-либо определенного вида микроорганизмов, способного разрушить все компоненты нефти. Бактериальное воздействие отличается высокой селективностью и полное разложение нефти требует воздействия многочисленных бактерий разных видов, причем для разрушения образующихся промежуточных продуктов требуются иные микроорганизмы. Легче всего протекает микробиологическое разложение парафинов. Более стойкие циклопарафины и ароматические углеводороды сохраняются в океанической среде гораздо дольше. В воде, обедненной кислородом, разложение нефти замедляется.

Процесс загрязнения грунтов при утечках нефти на дневной поверхности можно разделить на три последовательные во времени стадии. Начальная стадия характеризуется преимущественно образованием поверхностного ареала загрязнения и незначительной инфильтрацией нефти в грунт. На второй стадии происходит главным образом вертикальная инфильтрация нефти. Третья стадия характеризуется боковой миграцией нефти в грунте. Процесс загрязнения определяется проницаемостью грунта, его составом и положением зеркала грунтовых вод и временем. При высокой проницаемости боковая фильтрация происходит лишь

вблизи зеркала грунтовых вод. В менее проницаемой среде она значительна и у дневной поверхности. В неоднородном грунте, состоящем из различных по проницаемости слоев, фронт загрязнения определяется расположением этих слоев. При наличии градиента грунтовых вод, т. е. уклон зеркала воды не равен нулю, наблюдается смещение нижней части фронта загрязнения в сторону движения грунтовых вод. Обладая низкой вязкостью, нефть проникает в пористые и трещиноватые горные породы как минимум на глубину 4,5–5,0 м, а в случае высокой вязкости — не более чем на 1 м. При этом также необходимо учитывать, что нефть может растекаться по поверхности грунта.

Основные источники загрязнения приземного слоя атмосферы при трубопроводном транспорте нефти и газа — аварийные выбросы газа при отказах линейной части магистральных газопроводов, испарение при хранении нефти в резервуарах, а также продукты сгорания нефти и газа. Другие источники загрязнения приземного слоя атмосферы — резервуарные парки, сооружаемые на головных и некоторых промежуточных перекачивающих станциях. В результате сливно-наливных операций и суточных колебаний температуры продукты испарения выделяются в атмосферу. Это так называемые большие и малые дыхания. Атмосфера может загрязняться на любой стадии производства, обработки, хранения, перевозки и использования углеводородов. Так, уже при добыче нефти происходит утечка попутного нефтяного газа, испарение легких фракций нефти, неполное сгорание в газовых факелах. При определенных условиях высокая концентрация углеводородов может привести к образованию так называемого фотохимического смога с ядовитыми веществами, вызывающими раздражение и заболевания дыхательных путей и глаз у людей и губящими растительность.

Самопроизвольное возгорание нефти и газа при повреждении линейной части трубопроводов или резервуаров является хотя редким и временным, но мощным источником загрязнения атмосферы. Причиной пожара может быть как бесконтрольное обращение с огнем, так и сжигание нефти с целью ликвидации последствий загрязнения.

Отрицательное воздействие загрязнителей обусловливается их токсическими и раздражающими свойствами. В природе нет ископаемого топлива, которое состояло бы из одних углеводородов, всегда имеются примеси, например, в сырой нефти в зависимости от месторождения концентрируются 0,5–6,0% серы, 0,02–1,7% азота, 0,005–3,6% кислорода и незначительная примесь минеральных соединений. Даже природный газ содержит азот, кислород, окись углерода, углекислый газ и сероводород [3].

К наиболее опасным загрязнителям атмосферы относят окислы азота, окись углерода и сернистый ангидрид, образующиеся в результате сгорания природного газа и нефти, а также сжиженные газы — аммиак, метан, этилен, этан, пропан, бутан и др. Последние являются менее распространенными, однако намечающаяся тенденция к увеличению трубопроводного транспорта этих продуктов позволяет рассматривать их в качестве основных

загрязнителей воздуха наряду с окисью углерода и сернистым ангидридом.

Поступившие в атмосферный воздух выбросы окислов азота NO_x и продукты их химической трансформации (главным образом NO_2) оказывают вредное воздействие на здоровье людей, приводят к повреждению лесов и возникновению кислотных дождей. Значительна роль NO_2 в атмосферном радиационном балансе и химии атмосферы.

Известно, что выбросы содержат в основном NO (90% и более). Частичный переход NO в существенно более токсичный NO_2 происходит в атмосферных условиях в результате сложных химических (в том числе фотохимических) реакций.

В то же время выявлено, что отношение NO_2/NO_x в хорошо перемешанных с окружающим воздухом факелах не зависит от начального значения отношения NO_2/NO_x и от расстояния до источника выброса, но различается от времени года, т. е. зависит только от параметров атмосферного воздуха и не зависит от источника выброса [1].

Область загрязнения приземного слоя атмосферы определяется типом источника и характером утечки, свойствами загрязнителя, состоянием атмосферы и поверхности земли и т. п. Состояние атмосферы характеризуется градиентом температуры воздуха по высоте, направлением и скоростью ветра, облачностью, уровнем фонового загрязнения и т. д. Указанные факторы в существенной мере определяют процесс рассеяния загрязнений в атмосфере. При большой скорости ветра подъем струи загрязняющих веществ над источником незначителен вследствие сноса потоком воздуха. По мере уменьшения скорости ветра высота подъема струи возрастает. Зимой наиболее опасны безветренные дни, летом — без осадков.

Основная причина загрязнений в атмосфере — турбулентность воздуха. С понижением температуры воздуха по мере удаления от поверхности земли вертикальные потоки воздушных масс усиливаются, что способствует увеличению турбулентности и рассеиванию загрязнителей в атмосфере. Если же с высотой температура воздуха увеличивается (температурная инверсия), то движение воздуха и рассеивание загрязнителей существенно сокращаются [4].

Загрязняющие атмосферу вещества задерживают ультрафиолетовую радиацию, снижают отражательную способность поверхности снега зимой. Основная опасность сжиженных газов, выделяющихся при повреждении магистральных и распределительных трубопроводов, обусловлена высокой пожаро- и взрывоопасностью и токсичностью. Жидкие углеводороды характеризуются низкой диффузионной способностью и температурой воспламенения—самовоспламенения, широким диапазоном концентраций воспламенения смеси паров и высокой температурой пламени при горении, значительным (до 300 раз) увеличением по сравнению с начальным объемом при испарении жидкой фазы. Другая опасность связана с тем, что при воспламенении газовоздушной смеси образуется область нестационарного быстрого горения или детонации, фронт которой распространяется с большой скоростью и обладает огромной разрушительной силой.

Образующиеся при испарении жидкой фазы облака газов содержат взрыво- и пожароопасные концентрации газозвушной смеси и в зависимости от конкретной обстановки могут распространяться на значительные расстояния, представляя серьезную угрозу для ОС и человека. При этом следует иметь в

виду, что значительная часть эксплуатируемых в настоящее время трубопроводов для транспорта сжиженных газов проходит по территории освоенных районов, что предопределяет повышенные требования к надежности таких трубопроводов и мероприятиям по охране окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. А ко п о в а Г.С., С о л о в ь е в а Н.А., Я ц е н к о И.А., Н и к о л а е в А.Н. Трансформация NO в NO_2 в факалах выброса газоконпрессорных станций // Докл. междунар. симпозиума «Химия приземного слоя атмосферы. От регионального загрязнения к глобальным изменениям». Т. 3. Греция, 2002. С. 117—129.
2. Г о л ь д б е р г В.М., З в е р е в В.П., А р б у з о в А.И. и др. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М.: Наука, 2001. 222 с.
3. О р л о в Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. школа, 2002. 212 с.
4. С л а д к о п е в ц е в С.А. Региональная геоэкология России. Учебное пособие. М.: Изд-во МосГУГиК, 2000. 158 с.
5. Т е л е г и н Л.Г., К и м Б.И., З о н е н к о В.И. Охрана окружающей среды при сооружении и эксплуатации газонефтепроводов. М.: Недра, 1988. 192 с.

Московский государственный геологоразведочный университет

Рецензент — Н.В. Демин