

ПОСЛЕДСТВИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

EFFECTS OF OIL SOIL POLLUTION AND CRITERIA FOR THE SELECTION OF LAND COVER REGENERATION TECHNOLOGIES

**S. Germanova
N. Sambros
V. Vyakhova
T. Fedorova
P. Petrovskaya**

Summary. This article considers the short and medium-term effects of soil pollution with petroleum products, as well as the main methods for eliminating and minimizing such effects.

The modern economy is commonly referred to as the oil economy, since most basic technological processes and technologies have so far been based on the consumption of this natural resource as raw material and energy carrier. The production, transportation, processing and even consumption of oil and petroleum products are somehow associated with uncontrolled leaks. At the same time, despite the fact that oil is a natural raw material, and in oil-bearing areas may even be an integral component of established biocenoses, most ecosystems are still affected by oil, so the study of the impact of petroleum products on the environment and the search for the most effective technologies to eliminate such impact remain relevant and demanded tasks.

Keywords: Oil, soil pollution, soil regeneration..

Германова Светлана Евгеньевна

Старший преподаватель, Российский университет дружбы народов
germanova-se@rudn.ru

Самброс Наталия Борисовна

Старший преподаватель, Российский университет дружбы народов
sambros-nb@rudn.ru

Бяхова Варвара Михайловна

К.вет.н., старший преподаватель, Российский университет дружбы народов
byakhova-vm@rudn.ru

Фёдорова Татьяна Александровна

К.б.н., доцент, Российский университет дружбы народов
fedorova-ta@rudn.ru

Петровская Полина Александровна

Старший преподаватель, Российский университет дружбы народов
petrovskaya-pa@rudn.ru

Аннотация. Настоящая статья рассматривает кратко- и среднесрочные последствия загрязнения почв нефтепродуктами, а также основные методы устранения и минимизации таких последствий.

Современную экономику принято называть экономикой нефти, поскольку большинство базовых технологических процессов и технологий до настоящего времени основываются на потреблении данного природного ресурса в качестве сырья и энергоносителя. Добыча, транспортировка, переработка и даже потребление нефти и нефтепродуктов, так или иначе, связаны с неконтролируемыми утечками. При этом, не смотря на то, что нефть является природным сырьем, и в нефтеносных районах может даже являться неотъемлемым компонентом устоявшихся биоценозов, на большинство экосистем нефть все же оказывает деструктивное влияние, в связи с чем изучение воздействия нефтепродуктов на окружающую среду и поиск наиболее эффективных технологий устранения такого воздействия по-прежнему остаются актуальными и востребованными задачами.

Ключевые слова: нефть, загрязнение почв, регенерация почвенного покрова.

Современный технологический уклад во многом базируется на использовании полезных ископаемых, в том числе нефти — как одного из источников энергии и базового сырья для различных отраслей промышленности.

Археологические раскопки позволяют констатировать факты использования нефти человеком в качестве строительного материала уже 6–8 тысяч лет назад

на территории Месопотамии, где древние строители применяли нефть и ее производные в качестве вяжущего материала при возведении жилых и хозяйственных зданий, а асфальт и битум — использовали при строительстве стен древнего Вавилона [1]. Уже в те далекие времена, нефть естественным образом представляла собой интерес и как природное топливо, в качестве которого сырая нефть в весьма ограниченных объемах использовалась примерно до XVIII века, т.к. химический

состав сырой и неочищенной нефти обуславливал ряд ограничений ее применения в качестве горючего материала. Поскольку при сжигании сырой нефти выделяется значительное количество ядовитых веществ — сернистых соединений, азотосодержащих продуктов и прочих примесей, вызывающих образование едких дымов с большим содержанием сажи, уже в X веке нашей эры зафиксированы первые попытки очистки и перегонки нефти, которые сумели перерасти в полноценные промышленные технологии только к середине XVIII века.

Естественно, изначально о соблюдении каких-либо природоохранных мероприятий при добыче, а затем и при переработке нефти, речи не шло в силу как незначительности объемов добычи, так и по причине принципиального отсутствия понимания потенциальных угроз благополучию человека в результате нарушения экологического баланса окружающей среды, при этом первоначальные технологии как раз и сопровождалась на редкость высокой степенью загрязнения нефтью природных биосистем.

Современные технологии нефтедобычи и нефтепереработки, безусловно, являются более щадящими по отношению к окружающей среде, чем те способы, что применялись на заре технологического развития. Более того, современная нефтедобыча и нефтепереработка, изначально включают в себя базовые стандарты, направленные на сохранение окружающих экосистем. Однако, какими бы совершенными не были бы современные технологии, они не могут в настоящий момент гарантировать полного исключения вероятности загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами. Кроме того, многократно возросшие за последние 250 лет объемы добычи и переработки нефти пропорционально увеличили и степень загрязнения почв нефтью и продуктами ее переработки.

Поскольку нефть является все-таки природным материалом, то даже экосистемы, серьезно пострадавшие от разлива нефтепродуктов способны на естественную регенерацию в полном объеме, однако проблема заключается в том, что для естественного процесса восстановления необходимо слишком много времени, иногда более 100 лет. Иными словами, загрязнение биосистем нефтью и нефтепродуктами на современном этапе развития промышленного производства происходит гораздо быстрее, чем возможно их самостоятельное восстановление. А т.к. основной виновник такого загрязнения — человек, заинтересованный также в сохранении и нормальном функционировании природных экосистем, являющихся средой его обитания, то поиск и практическое применение наиболее эффективных и безопасных технологий очистки от нефти и нефтепродуктов базовых природных компонентов — воды и по-

чвы являются одной из приоритетных задач дальнейшего технологического развития.

Кратко перечислим, что представляет собой сырая нефть. Как известно, нефть — это многокомпонентная коллоидная смесь углеводородов, в основном — нафтен, аренов и алканов, содержащая также набор органических веществ, имеющих в своей структуре азот, кислород и серу.

Алканы, они же — парафины, представляют собой предельные углеводороды с молекулами линейной, либо разветвленной структуры, которые в зависимости от числа ядер углерода в углеводородном скелете могут быть жидкими (от 5- до 16 ядер), твердыми (выше 16 ядер) и газообразными (4 и менее ядер). Данные соединения химически инертны, но при этом хорошо горят при доступе атмосферного воздуха с выделением значительного количества тепла, образуя при горении молекулы воды и двуокиси углерода. Процентное содержание различных фракций парафинов может варьироваться в зависимости от месторождения.

Нафтены — группа органических веществ циклического строения, а также полициклические соединения с длинными линейными заместителями.

Арены — представляют собой органические вещества ароматического строения, дающие при горении значительное количество копоти.

Помимо углеводородов природная нефть содержит асфальто-смолянистую фракцию, включающую асфальтен и состоящую из различных высокомолекулярных соединений смолу, порфирины на основе органических азотосодержащих соединений, серосодержащие соединения, а также зольные компоненты, содержащие оксиды железа, ванадия, хлориды металлов и других минеральных неорганических соединений.

Таким образом, в составе сырой нефти может находится до тысячи органических и неорганических веществ, из которых большая часть (до 80–90% по массе) являются жидкими углеводородами, представленными более чем 500 различными соединениями. Еще 4–5% по массе — это гетероатомные, преимущественно сернистые органические соединения в составе около 250 веществ. Остальной объем сырой нефти — это различные металлоорганические соединения и растворённые углеводородные газы, а также вода, минеральные соли, соли органических кислот и механические примеси.

Несмотря на то, что согласно официально принятой биогенной теории нефтеобразования нефть сама по себе является продуктом весьма длительного, ста-

дийного процесса трансформации органического вещества — остатков древних живых организмов, попадая в природные, естественно сложившиеся живые экосистемы, в большинстве случаев она оказывает на них весьма негативное пагубное воздействие, поскольку большинство таких систем не имеют в своем составе агентов, способных на быстрое разложение, усвоение, переработку или использование в процессе своей жизнедеятельности элементов вышеперечисленного химико-органического коктейля, в то время, как физико-химические свойства нефти и ее составляющих способны провоцировать серьезное изменение свойств, состава и структуры базовых элементов экосистем, в т.ч. почвенного покрова.

И так, перечислим, в чем выражаются основные негативные последствия загрязнения почвы нефтепродуктами. Сразу необходимо отметить, что поскольку поверхность суши — это всегда многоуровневая структура, включающая открытые водоемы, подземные грунтовые и артезианские воды, нельзя рассматривать процесс загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами отдельно от процесса загрязнения ими же подземных и открытых вод, представляющих собой единую систему с почвенно-грунтовым покровом. Кроме того, почвенный покров — это сама по себе живая, многокомпонентная система, состав которой обусловлен жизнедеятельностью почвенной микрофлоры — простейших грибов, водорослей и бактерий, формирующих и поддерживающих почвенный слой в состоянии, пригодном для существования в соответствующей экосистеме высших растений и животных.

Поскольку, как уже было отмечено нефть — это многокомпонентный коллоидный раствор, преимущественно органических веществ, естественным образом различные фракции данного раствора способны оказывать на живые организмы почвенного покрова различное воздействие. В частности, лёгкие фракции нефти и нефтепродуктов оказывают свое токсическое воздействие непосредственно после контакта с почвой и населяющими ее живыми организмами. Вместе с тем такое воздействие носит кратковременный характер ввиду повышенной летучести легких фракций нефти.

Пагубное воздействие тяжелых нефтяных фракций дает о себе знать несколько позже. Поскольку такие фракции маломобильны и представляют собой углеводороды с длинными углеродными цепочками, они, как правило, способны к формированию устойчивого очага загрязнения, а естественное очищение от них протекает с большим трудом, поскольку, чем длиннее углеродная цепочка органического вещества, тем в большей степени она устойчива к внешнему биологическому воздействию.

Еще одной неприятной особенностью тяжёлых нефтяных фракций является их способность «цементировать» почвенные капилляры — в частности попадание парафинов нефти в почву ведёт к нарушению влагообмена на длительный срок, в связи с чем данные фракции наиболее пагубны для почв, т.к., обладая низкой температурой затвердевания, они прочно закупоривают внутрипочвенные каналы и поры, блокируя круговорот веществ.

Разливаясь на поверхность почвы, нефть, либо нефтепродукты сразу же начинают просачиваться в глубинную почвенных масс, вызывая изменения их химического состава, структуры, и как следствие — свойств, причем изменения эти носят в абсолютном большинстве случаев негативный характер. Прежде всего, страдает жизненно важный для большинства экосистем гумусовый слой — в нем резко увеличивается количество углерода, но это углерод, пребывающий в мало усвояемом для большинства живых организмов виде; при этом ухудшается свойство почв как питательного субстрата для корней растений, поскольку благодаря своим гидрофобным свойствам нефть и нефтепродукты блокируют свободный доступ к ним почвенной влаги и растворенных в ней минеральных веществ. Кроме того, «запечатанные» нефтью или нефтепродуктами почвенные капилляры утрачивают способность обеспечивать необходимую аэрацию корней, в результате чего корневая система просто-напросто отмирает, а растительный покров в итоге погибает, или в значительной степени деградирует.

При этом необходимо еще раз отметить, что практически все вещества, входящие в состав нефти и нефтепродуктов, являются в той или иной степени токсичными, а нередко и канцерогенными, что приводит к существенному сокращению разнообразия почвенной микрофлоры загрязненных участков, обеспечивавшей в нормальных условиях поддержания плодородия.

Загрязнение нефтью приводит к резкому нарушению в почвенном микробиоценозе. Комплекс почвенных микроорганизмов, как правило, реагирует на нефтяное загрязнение после кратковременного ингибирования, повышением своей численности и усилением активности. Прежде всего, это относится к углеводородоокисляющим микроорганизмам, количество которых резко возрастает по сравнению с незагрязненными почвами. Сообщество микроорганизмов в почве принимает неустойчивый характер [2]. При этом происходит замещение азотофиксирующих микроорганизмов, что в итоге и приводит к снижению продуктивности гумусового слоя почвенного покрова.

Нефтяное загрязнение подавляет фотосинтетическую активность растительных организмов, что сказывается в первую очередь на жизненном цикле почвенных водорослей, вплоть до гибели всей популяции.

Последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами как правило длительны и отрицательны по своей сути и в отношении почвенных животных, вызывая их массовое удаление с загрязненных территорий.

Иными словами, рассматривая проблему загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами, следует в первую очередь рассматривать почвенный покров, как основу микро- и макробиоценозов, обеспечивающих устойчивое экологическое равновесие на соответствующей территории, а последствия нефтяных загрязнений почвенного покрова нефтью и продуктами ее переработки — в том числе и в первую очередь — как воздействие на указанные биоценозы в комплексе. При этом можно условно выделить несколько основных направлений негативного воздействия нефтяных загрязнений на почвенный покров как комплексную структурированную биосистему:

1. Структурные воздействия, обусловленные «цементированием» почвенных капилляров, что изменяет водо- и газопроницаемость почв, приводя к сокращению количества доступных для почвенных организмов воды, воздуха и минеральных веществ;
2. Химические воздействия, приводящие в первую очередь к изменению в загрязненных почвах количества таких ключевых элементов, как азот и углерод, а также изменяющие кислотность почвенного покрова;
3. Токсические воздействия, связанные с отравляющим воздействием компонентов нефтяной взвеси на биологические организмы.

Как следствие, на загрязненных нефтью и нефтепродуктами территориях можно наблюдать следующие негативные изменения:

- ◆ существенный экологический дисбаланс почвенной системы, вплоть до кардинального изменения всех свойств и параметров почвы по сравнению с изначальным состоянием;
- ◆ изменение физико-химических и морфологических характеристик почвы, ее структуры и особенно поверхностного плодородного слоя;
- ◆ нарушение природного соотношения между отдельными группами и фракциями органических веществ почвенных горизонтов;
- ◆ снижение плодородия и формирование устойчивого токсического поражения, в т.ч. канцерогенными веществами;
- ◆ проникновение нефти и нефтепродуктов в грунтовые воды.

Как правило, область загрязнения нефтью и нефтепродуктами не ограничивается только теми участками, на которых осуществляется непосредственное их ис-

пользование и происходят локальные или даже масштабные аварийные утечки. Даже в районах, свободных от хозяйственной деятельности человека, таких как заповедники, национальные парки и др., загрязняющие углеводороды, могут транспортироваться с воздушными и водными потоками [3].

Поскольку, как было отмечено выше, структура почвенного покрова неразрывно связана с системой поверхностного и подземного водооборота, рассматривать воздействия нефтяных загрязнений на состояние почвенного покрова целесообразно в совокупности с изучением последствий воздействия таких загрязнений на грунтовые и артезианские воды, поскольку очевидно, что только такой комплексный подход позволит подобрать наиболее эффективные методики ликвидации загрязнений почвенного покрова нефтью и продуктами ее переработки.

Большинство нефтяных углеводородов обладает меньшей плотностью, чем вода, при этом нефть и нефтепродукты практически не растворимы друг в друге. В случае попадания на поверхность почвенного покрова нефть, либо нефтепродукты проникают под действием силы тяжести в нижние слои почвы, достигая скальных, либо глинистых пород, либо водоносных горизонтов, после чего дальнейшее горизонтальное проникновение загрязняющих веществ приостанавливается и начинается их горизонтальная миграция, или формирование глубинных нефтяных линз, толщина которых может изменяться от нескольких сантиметров до нескольких метров.

В зависимости от конкретных геологических и структурных условий может происходить горизонтальная миграция нефтяной линзы по уклонам скальных (гидропорных) пород, либо в направлении потоков подземных вод, с которыми наиболее растворимые фракции, в основном ароматических углеводородов, способны образовывать гидрорастворы.

Результатом взаимодействия грунтовых вод с загрязняющими нефтепродуктами является, в большинстве случаев, формирование стратифицированного разреза водоносного горизонта, в верхних слоях которого располагается сам загрязнитель, в средних — двухфазная смесь, а в нижних — раствор низкомолекулярных фракций нефтепродуктов в воде, при этом объемы эмульгированных и растворимых в воде углеводородов могут в несколько раз превышать объем самой нефтяной линзы, образовавшейся в результате загрязнения на поверхности подземных вод.

Также как и в слое почвы, в водоносных горизонтах могут происходить медленные процессы биогенного

разрушения и химического окисления нефти и нефтепродуктов с образованием нафтеновых кислот, фенолов, эфиров и карбонильные соединений, имеющих высокую водную растворимость. Влияние продуктов такого распада на окружающую среду имеют не менее, а в ряде случаев и более, пагубное влияние, чем непосредственно нефть, или продукты ее перегона.

Таким образом, очевидно, что пагубное влияние нефти и нефтепродуктов на экосистемы в значительной степени усиливается, если последние в результате загрязнения почв в итоге добираются до водоносных горизонтов и открытых водоемов, течения которых разносят загрязнители на значительные территории. Соответственно, выбор технологии ликвидации последствий загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами во всех случаях должен учитывать приоритетное принятие мер по недопущению или минимизации контакта загрязняющих взвесей с подземными водами и открытыми водоемами.

В целом, что касается ликвидации последствий загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, то ее можно условно разделить на активную — когда реализуется комплекс мероприятий, связанных с непосредственным активным механическим воздействием на почвенный покров, и пассивную — когда применяется ограниченное, «мягкое» воздействие на поверхность загрязненной почвы, как правило, с использованием различных биологических агентов, способных перерабатывать и разлагать нефтепродукты и компоненты нефтяной взвеси, либо накапливать их, выкачивая из почвы (в этом случае необходимо последующее удаление и утилизация таких обработанных биологических агентов).

Современные технологии ликвидации нефтяных загрязнений, позволяют подобрать для каждого конкретного случая наиболее эффективную методику нивелирования последствий попадания в окружающую среду нефти и нефтепродуктов. При этом выбор позволяет

учитывать особенности загрязненной местности — ее рельеф, структуру почвенного покрова, глубину залегания грунтовых вод, наличие растительности. Кроме того, данные технологии должны избираться и исходя из объемов проникшего в естественную среду нефтяного загрязнителя и скорость его распространения в каждой конкретной местности.

Соответственно для того чтобы подобрать оптимальную схему ликвидации нефтяных загрязнений, необходимы также технологии учета и мониторинга нефтяных загрязнений, а также система адекватной оценки воздействия загрязняющих факторов на почвенный покров и сопутствующие биосистемы, поскольку степень и скорость негативного воздействия одного и того же объема разлитой нефти способно оказывать абсолютно разное воздействие на почвы, например, тундры и широколиственного леса. Кроме того, такое воздействие также, очевидно, будет варьироваться в зависимости от времени года.

Немаловажным вопросом применения тех или иных технологий регенерации почв, пострадавших от загрязнения нефтью и продуктами нефтепереработки, является и вопрос стоимости применяемых технологий. Очевидно, здесь необходим баланс между эффективностью технологии и затратами на ее реализацию. Безусловно, экологический баланс среды обитания человека является приоритетной ценностью, однако одномоментные затраты на реализацию природоохранных мероприятий, например в случае аварийных разливов нефти или нефтепродуктов, не должны сказываться на экономической устойчивости соответствующих предприятий, в связи с чем представляется целесообразным формирование и поддержка на государственном уровне систем обязательного страхования экономических субъектов, связанных с добычей, транспортировкой, переработкой и использованием нефти и нефтепродуктов в целях ликвидации последствий нефтяных загрязнений, обусловленных технологической деятельностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дэниел Ергин. Добыча: Всемирная история борьбы за нефть, деньги и власть. — М.: «Альпина Паблишер», 2011.-960 с.-ISBN978-5-9614-1252-9.
2. О последствиях загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами [электронный ресурс] Официальный сайт Управления Россельхознадзора по республике Татарстан в сети «Интернет» URL: <http://shn.tatarstan.ru/rus/index.htm/news/872835.htm> (дата обращения: 25.01.2020).
3. Васильев А. В., Быков Д. Е., Пименов А. А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефтесодержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2015. — Т. 17. — № 4. — С. 269–272.

© Германова Светлана Евгеньевна (germanova-se@rudn.ru), Самброс Наталья Борисовна (sambros-nb@rudn.ru),

Бяхова Варвара Михайловна (byakhova-vm@rudn.ru),

Фёдорова Татьяна Александровна (fedorova-ta@rudn.ru), Петровская Полина Александровна (petrovskaya-pa@rudn.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»