

Можно ли добиться эффективной очистки нефтезагрязненных песков с помощью растений и почему?



В статье рассмотрена ситуация, сложившаяся в нашей стране и в мире в отношении загрязнения песчаных грунтов нефтяными углеводородами. Показана необходимость оценки направленности и степени изменений свойств таких грунтов для совершенствования метода их рекультивации с помощью посадки растений (фиторемедиации). Описаны механизмы изменений свойств песков при их загрязнении углеводородами и даны соответствующие количественные оценки.

ГРИГОРЬЕВА ИЯ ЮРЬЕВНА

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, кандидат геолого-минералогических наук, г. Москва
ikagrig@inbox.ru

Нефтяные углеводороды (нефть и продукты ее переработки) являются одними из наиболее широко распространенных загрязнителей окружающей среды в настоящее время. На месторождениях и при транспортировке ежегодно теряется 3–7% добываемой в мире нефти, а объемы нефтяных загрязнений окружающей среды на планете достигают 10–20 млн т в год [11].

Вопросам изучения особенностей углеводородных загрязнений посвящено достаточно большое количество работ, среди которых можно отметить исследования Ю.И. Пиковского, Н.П. Солнцевой, В.Ж. Аренса, А.З. Саушкина, Р.Г. Мотенко, А.А. Зубайдуллина, К.И. Лопатина, В.И. Толстограя и др. При этом, в то время как достаточно много публикаций

посвящено изучению нефтяных загрязнений водных сред и почвенных горизонтов, многие вопросы, связанные с оценкой опасности углеводородного загрязнения дисперсных грунтов вообще и песков в частности, до сих пор остаются слабоизученными.

С эколого-геологической точки зрения опасность загрязнения дисперсных грунтов нефтью или нефтепродуктами состоит в нарушении динамического равновесия в сложившихся эколого-геологических системах из-за изменения всего комплекса морфологических, физических, физико-химических, биологических свойств грунтов, определяющих экологические функции участков литосферы в пределах ореолов загрязнения. Оценка трансформации этих функций под влиянием нефтяных углеводородов в дисперсных грунтах была выполнена, например, в работе [7].

Необходимо подчеркнуть, что из всех грунтов *наибольшему углеводородному загрязнению подвергаются именно пески*. Это связано в первую очередь с их широким распространением на территориях нефтепромыслов и с их активным использованием при технологическом обустройстве кустовых площадок нефтедобывающих скважин (рис. 1, 2). Кроме того, такие отходы, как нефтешламы, помимо нефтепродуктов и воды включают также песок и глину, соотношение которых колеблется в разных пределах (рис. 3).



Рис. 1. Участок Северо-Варьёганского нефтегазоконденсатного месторождения



Рис. 2. Одна из кустовых площадок на Пермьяковском нефтяном месторождении



Рис. 3. Нефтяной шлам [6]

На территориях же населенных пунктов именно песчаные грунты подвергаются наибольшему загрязнению, поскольку в силу своей высокой проницаемости они являются основными каналами миграции нефтяных углеводородов, попавших в окружающую среду при утечках или авариях (рис. 4).



Рис. 4. Углеводородное загрязнение, попавшее на песчаный грунт

К сожалению, точные статистические оценки существующего объема нефтезагрязненных песчаных грунтов на территории России отсутствуют. Лишь ориентировочно известно, что к настоящему времени в нашей стране накоплено более 600 млн куб. м нефтешламов [10].

Класс опасности нефтезагрязненных песков – третий, поэтому их нельзя размещать на полигонах ТКО (твердых коммунальных отходов), а надо подвергать переработке. Территории же распространения песчаных грунтов, загрязненных углеводородами, должны быть рекультивированы. Хотя следует отметить, что целостной программы переработки нефтезагрязненных песков и действительно эффективных методов их рекультивации в нашей стране пока не разработано [3, 5].

В целом на сегодняшний день обширные по площади и объему массивы песчаных грунтов, загрязненные углеводородами в результате добычи и транспортировки нефти и нефтепродуктов, функционирования нефтехимических предприятий и складов горюче-смазочных материалов, являются следствием так называемого *накопленного экологического ущерба*. В связи с этим в феврале 2014 года на заседании Высшего экологического совета Комитета Государственной думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, посвященном вопросам экологической безопасности [11], было признано, что 95,6% нефтезагрязненных территорий требуют проведения рекультивационных мероприятий.

Физические, термические, химические методы разрушения нефтяных углеводородов, а также применение бактериальных препаратов для рекультивации нефтезагрязненных грунтовых массивов не обеспечивают полного удаления из них загрязняющих веществ и даже иногда могут являться дополнительными источниками поступления загрязнений в окружающую среду [3, 5, 8].

Согласно существующим нормативным документам [2] рекультивация нарушенных земель должна состоять из двух последовательных этапов – технического и биологического. Среди методов биологического этапа рекультивации все большее распространение как за рубежом, так и в России получает *фиторемедиация* – очистка грунтов с помощью посадки растений (рис. 5). Растения ускоряют процессы очистки и позволяют обеспечить стабильность процессов биологического распада. Фиторемедиация не очень затратна, не

всегда требует снятия верхнего слоя грунта, может применяться на больших площадях и способствует сохранению и улучшению окружающей среды [8].



а

б

Рис. 5. Фрагмент участка до (а) и после (б) трехгодичного этапа биологической рекультивации [4, 5, 8]

При этом неизбежно встает вопрос о влиянии присутствия нефтяных углеводородов на доступность воды для растений при выращивании их на загрязненных участках. Именно это в конечном итоге и будет определять допустимые уровни содержания загрязнителей в грунтах для использования их очистки методом фиторемедиации.

Однако вполне очевидно, что тепловой, воздушный, водный режим грунтов и особенности питания посаженных на них растений во многом определяются минеральным и гранулометрическим составом и свойствами этих грунтов, а также составом и свойствами нефтяных загрязнителей. В этой связи автором проводилась оценка влияния углеводородных загрязнений на свойства песчаных грунтов.

Нефтяные загрязняющие вещества сорбируются грунтами преимущественно еще в жидкой фазе. Сначала в основном происходит сорбция их полярных компонентов (нафтенных кислот, смол, асфальтенов), затем – неполярных компонентов. Способность углеводородов сорбироваться песчаными грунтами повышается в следующей последовательности: парафины; циклопарафины; ароматические углеводороды; олефины.

Количество сорбированных жидких углеводородов в единице объема грунта зависит от общего свободного объема капилляров в нем, то есть от его гранулометрического состава и влажности.

Механизм влияния нефти или нефтепродуктов на грунт может быть описан на основе работ [1, 9]. При взаимодействии с компонентами углеводородных загрязнителей происходит модификация поверхности частиц кремнезема, составляющего основную часть песчаных грунтов. Химические свойства таких поверхностно-модифицированных (загрязненных) песков будут определяться природой сорбированных нефтяных компонентов, а их физико-механические свойства – природой и свойствами исходных грунтов.

Эти изменения свойств оказывают существенное влияние на все биологические процессы, происходящие в грунте.

Ту или иную экологическую значимость имеют, конечно, все свойства песчаных грунтов, но ключевыми при оценке возможных негативных экологических последствий, на взгляд автора, являются: плотность, поглощательная способность, кислотно-основные характеристики, капиллярные особенности, гидрофизические параметры и прочность.

В результате заполнения пор в песке нефтяными загрязнителями у него появляется связность и он становится более агрегированным (рис. 6). Происходит уменьшение порового пространства, при этом загрязнитель вытесняет из грунта воздух и воду.

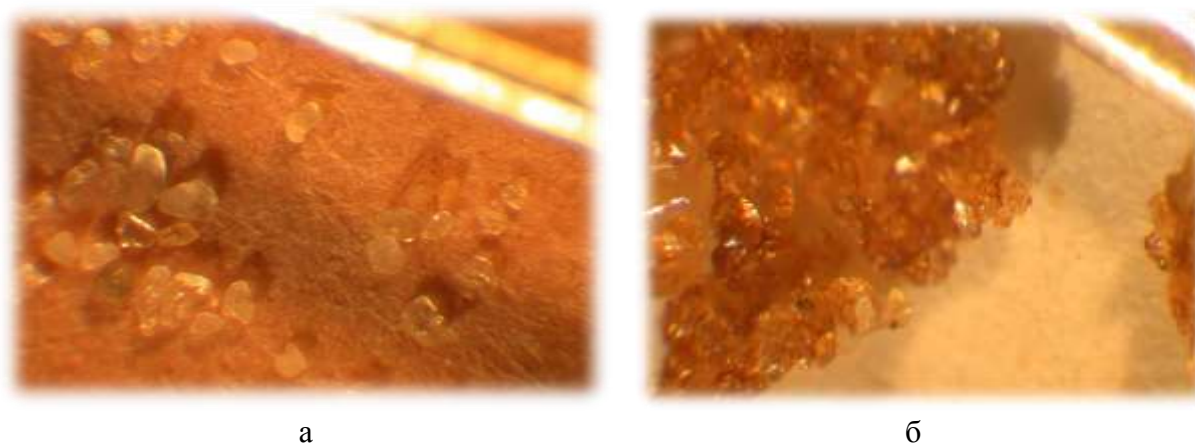


Рис. 6. Частицы песчаного грунта до (а) и после (б) нефтяного загрязнения

Кроме того, поверхность минеральных частиц песка гидрофобизируется. В результате он теряет способность впитывать и удерживать влагу. Для таких песчаных грунтов характерны более низкие значения гигроскопической влажности, проницаемости, максимальной молекулярной влагоемкости. То есть снижается их способность поглощать влагу как из атмосферы, так и из более глубоко залегающих слоев горных пород – следовательно, нарушается водный режим разреза.

Автором было подтверждено, что при загрязнении песков жидкими углеводородами резко изменяется их проницаемость. При содержании в песке 15% загрязнителя по массе коэффициент его фильтрации относительно воды уменьшится в несколько раз. А инфильтрация воды в песчаный грунт, содержащий 20% углеводородов, уже практически отсутствует (рис. 7). При таких уровнях загрязнения фиторемедиация нефтезагрязненных песков возможна только при условии постоянного полива, чего достаточно сложно достичь на обширных территориях нефтепромыслов.

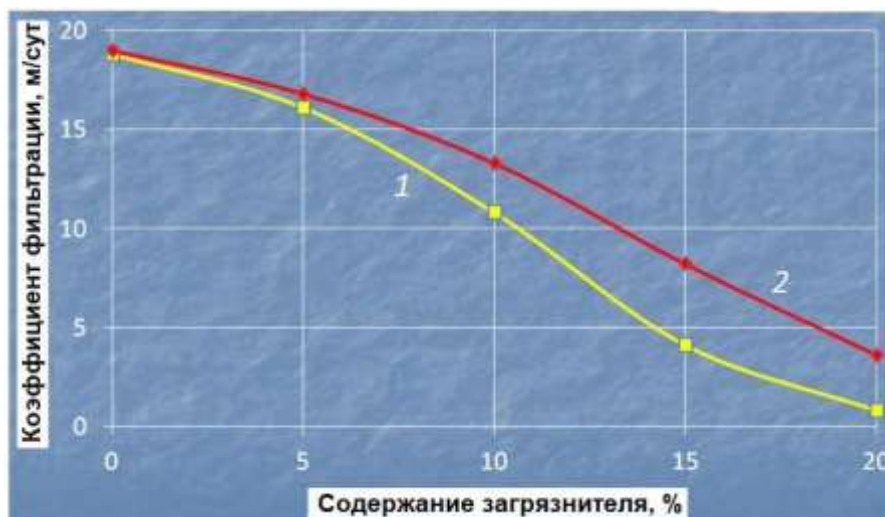


Рис. 7. Изменения коэффициента фильтрации мелкозернистого песка при увеличении процентного содержания (по массе) загрязнителя: 1 – дизельного топлива; 2 – нефти

Нефтепоглощительная способность песка согласно проведенным оценкам в среднем составляет 19–21% и зависит от гранулометрического состава и характера сложения грунта (его пористости).

Снижение водородного показателя (pH) песчаных грунтов при концентрации нефтяного загрязнителя 4–8 г/кг (около 0,5–1,0% по массе) связано с активизацией углеродоксилирующих микроорганизмов (рис. 8).

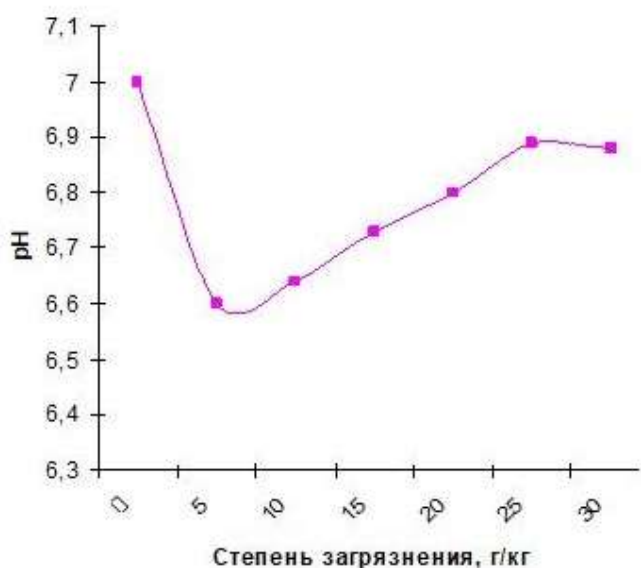


Рис. 8. Изменение водородного показателя (pH) песка при углеводородном загрязнении

Критическое содержание нефти или нефтепродуктов в песках, определяющее возможность применения фиторемедиации, существенно зависит от компонентного состава углеводородных загрязнителей. Так, при загрязнении нефтью пороговая концентрация составляет порядка 30 г/кг (примерно 3% по массе), дизельным топливом – не более 15 г/кг (1,5% по массе) (рис. 9).

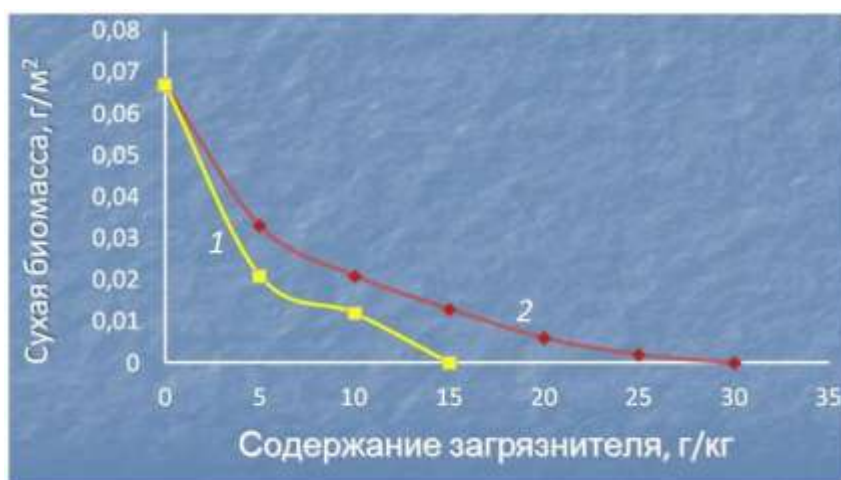


Рис. 9. Изменение сухой фитомассы при загрязнении песчаного грунта дизельным топливом (1) и нефтью (2)

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть, что дальнейшее изучение возможностей применения растений для рекультивации песков, загрязненных нефтью или нефтепродуктами, является весьма актуальной задачей. Необходимо продолжать исследования по оценкам направленности и степени изменений свойств таких грунтов при использовании разных агрофитоценозов на биологическом этапе рекультивации.

Список литературы

1. Айлер Р. Химия кремнезема / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч. 1. 416 с.
2. ГОСТ 17.5.3.04-83 Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. М.: Госстандарт СССР, 1983 (по сост. на 11.01.2018). URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/21465/>.
3. Григорьева И.Ю. Основные причины неэффективности рекультивации нефтезагрязненных земель в Западной Сибири / Geoinfo.ru. 20.11.2018. URL: <http://www.geoinfo.ru/product/grigoreva-iya-yurevna/osnovnye-prichiny-neeheffektivnosti-rekultivacii-neftezagryaznennyh-zemel-v-zapadnoj-sibiri-39212.shtml>.
4. Григорьева И.Ю. Эколого-геологические аспекты влияния углеводородного загрязнения на свойства песчаных грунтов // Труды Международной научной конференции «Инженерно-геологическое и эколого-геологическое изучение песков и песчаных массивов» (под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева). М.: МГУ, ООО «СамПринт», 2018. С. 218–222.
5. Григорьева И.Ю., Баранов Д.Ю., Абызова А.М. Особенности рекультивации нефтезагрязненных территорий в условиях Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2015. № 13. С. 48–57.
6. Классифицирование отходов по приказу 511 // ECOLOGY-OF. Дата последнего обращения: 16.01.2019. URL: <http://ecology-of.ru/otkhody/klassifitsirovanie-otkhodov-po-prikazu-511/>.
7. Королев В. А., Саркисов Г. А., Григорьева И. Ю. Трансформация экологических функций литосферы под влиянием углеводородного загрязнения и ее оценка с помощью кривой водоудерживания грунтов // Инженерная геология. 2016. № 3. С. 46–55.
8. Фиторемедиация нефтезагрязненных почв // Studwood.ru. Дата последнего обращения: 16.01. 2019. URL: https://studwood.ru/1158367/ekologiya/fitoremediatsiya_neftezagryaznennyh_pochv.

9. Химия привитых поверхностных соединений / под ред. Г.В. Лисичкина. М.: Физматлит, 2003. 592 с.
10. Хуснутдинов С.И., Сафиулина А.Г., Заббаров Р.Р. Методы утилизации нефтяных шламов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2015. № 10. С. 4–21.
11. Чупров В.А., Терентьев Ф.Ф. Нефтяное загрязнение: проблемы и возможные решения. М.: ИА «Гринпис-информ», 2014. 18 с.