

CLEANSOIL – перспективный метод очистки нефтезагрязненных почв под существующей инфраструктурой

Ю. В. КОРЖОВ, Е. Д. ЛАПШИНА, Д. И. ХОРОШЕВ, А. В. ЗАХАРЧЕНКО, М. Г. КУЛЬКОВ, Д. М. ЯРКОВ

Югорский государственный университет
628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16
E-mail: ykor1962@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты двухлетнего исследования новой технологии очистки почвы от нефтяного загрязнения – CLEANSOIL, сочетающей физико-химический и биологический способы удаления нефтяного загрязнения. Показано, что применение данной комбинированной технологии позволяет в короткие сроки снизить концентрацию нефтяного загрязнения в почве до уровня, при котором появляется возможность дальнейшего самоочищения почвы.

Ключевые слова: нефтезагрязненные почвы, новый метод очистки, технология CLEANSOIL.

Почва – трудновосполнимый и жизненно важный природный ресурс – испытывает все более возрастающее техногенное давление. Загрязнение почв вредными химическими веществами наблюдается повсеместно на территориях производственных и транспортных предприятий, военных объектов, жилых зон. Бесконтрольное сбрасывание отходов, случайный пролив или аварийный выброс химикатов почти всегда приводят к нарушению фильтрующих, газообменных функций почвы и, как результат, к серьезным негативным последствиям для окружающей среды и здоровья человека. Проблема осложняется существующим взаимодействием почвы с поверхностными и грунтовыми водами, что приводит к переносу вредных

веществ на многие километры от источника загрязнения.

Для ликвидации загрязнения почвы необходимы разработка и совершенствование технологий ее очистки. Существующие наиболее эффективные технологии предполагают удаление загрязненного слоя с поверхности. Это сопровождается высокими затратами на экскавацию, транспортировку и утилизацию загрязненной почвы. Кроме того, искажение морфологической структуры обрабатываемого участка является тяжелым экологическим грузом для окружающей среды [1, 2].

Выход видится в применении технологий *in situ*, позволяющих проводить очистку на месте (биоочистка, засыпка, перепашка поверхности и др.) при минимизированном механическом воздействии на почвенный покров и приповерхностные слои. Но в ряде случаев очистка *in situ* затруднена из-за наличия на загрязненных землях действующих предприятий, зданий, дорог и т. п.

Коржов Юрий Владимирович
Лапшина Елена Дмитриевна
Хорошев Дмитрий Иванович
Захарченко Александр Викторович
Кульков Михаил Григорьевич
Ярков Дмитрий Михайлович

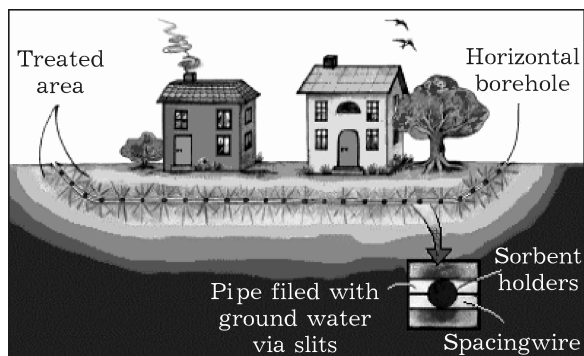


Рис. 1. Схема-описание практической реализации метода CLEANSOIL (из «Annex I – “Description of work”. An innovate method for the on-site remediation of polluted soil under existing infrastructures, 2004»)

Альтернативой является применение инновационной технологии очистки почвы, загрязненной опасными веществами (тяжелые металлы, углеводороды и др.), – CLEANSOIL (рис. 1).

Данный метод выгодно отличается от других возможностью его локального применения под объектами инфраструктуры, где другие методы нельзя реализовать. Метод заключается в прокладывании под техническим сооружением (зданием, технологической эстакадой, автостоянкой, нефтепроводом, железной дорогой и т. д.) перфорированных пластиковых труб способом горизонтального бурения. Трубы заполняются контейнерами со специально подобранным сорбентом в зависимости от типа загрязнения. Периодически, по мере отработки, контейнеры с сорбентом заменяются. Предполагается, что такая технология обеспечит как очистку почвы, находящейся над трубами, от летучих либо растворимых в воде загрязняющих веществ, так и долговременную защиту нижележащих грунтовых вод от проникновения в них загрязнения. Реализация метода подразумевает минимум расходов на бурение, закупку и утилизацию сорбентов. Рентабельность определяется правильным подбором местного недорогого сорбента для конкретного вида загрязнения и многолетним использованием сооружения, не нарушая технологических режимов инфраструктуры.

В статье приведены результаты исследования возможности применения технологии CLEANSOIL для очистки почв от нефтяно-

го загрязнения. Работа выполнена сотрудниками Югорского государственного университета в консорциуме с зарубежными и российскими партнерами по проекту 6-й Рамочной программы Евросоюза “Инновационный метод восстановления загрязненных почв на месте под существующей инфраструктурой (CLEANSOIL)”.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Краткая характеристика тестового участка. Для изучения возможности технологии CLEANSOIL выбрана территория нефтебазы ЮГУ в черте г. Ханты-Мансийска.

Поверхность изучаемой площадки тестового участка – нарушенный пойменный ландшафт р. Иртыш. Срезан 1 м гумусового и подгумусового слоя аллювиальной луговой почвы. Насыпан материал промышленного и урбаногенного происхождения. В 2002 г. на территории нефтебазы зарегистрирован крупный разлив нефти. Ликвидация видимого загрязнения проведена путем отсыпки песком. За три года сформировался мозаичный растительный покров. Формирование гумусового горизонта за данный период времени не произошло. Незагрязненный песчаный слой лежит на загрязненной слоистой толще, часть которой представляет собой погребенную аллювиальную луговую почву.

Разрез исследуемого участка характеризуется слоями:

- 0–25 см – светло-серый с белесыми вкраплениями, песчаный, увлажнен, уплотнен, бесструктурный. Граница ровная, переход резкий.
- 25–55 см – серо-бурый с ржавыми и сизоватыми пятнами, тяжелосуглинистый, увлажнен, уплотнен, комковатый, с литоморфами размером до 2 см. В верхней части сизо-серые легкосуглинистые прослойки. Граница ровная, переход заметный.
- 55–70 см – сизый с ржавыми пятнами, тяжелосуглинистый, плотнее вышележащего, комковатый, влажный, с включениями антропогенного происхождения.

В целом техногенное поверхностное образование (ТПО) изучаемой площадки харак-

теризуется отсутствием генетически сопряженных горизонтов и слабым развитием почвообразовательных процессов, которые протекают в условиях слабой аэрации. Вследствие бесструктурности грунтовой массы, уплотнения и низкой аэрации формирование органических горизонтов затруднено. Как следы почвообразования можно рассматривать формирование железистых новообразований на контакте с загрязненными нефтью отложениями. Согласно работе [3], ТПО определено как литострат на токсилитострате, подстилаемом погребенной химически преобразованной почвой.

Подземные воды на участке работ при бурении вскрыты всеми скважинами на глубине 5,8–7,7 м.

На выбранном участке имеются действующие технические сооружения (нефтеналивная эстакада, пункт слива-налива, хранения отработанных нефтепродуктов).

Экспериментальная часть. Выбор подходящего сорбента для очистки почвы от нефтяного загрязнения произведен из ряда таких недорогих и доступных материалов, как верховой торф, торфяной основной сорбент (производство Института торфа, г. Томск), кора сосны и полипропиленовые волокна “Irvelen” (производство компании “Руно+”, г. Томск).

Статические лабораторные эксперименты по выбору сорбента. Сравнение адсорбционных свойств выбранных веществ проводили по их способности адсорбировать нефтяные углеводороды (УВ), по схеме: в 4 колбы на 100 мл помещали 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 г сорбента одного вида и приливали в каждую 75 мл рабочего раствора углеводородов в воде (1-й рабочий раствор – смесь насыщенных углеводородов в воде, концентрация 110 ppm; 2-й рабочий раствор – бензол в воде, концентрацией 684 ppm), встряхивали в течение 5 мин. На анализ отбирали 10 мл жидкой фазы, по-возможности не захватывая частицы сорбента. Для сравнения на анализ отбирали 10 мл исходного рабочего раствора. Пробы рабочих растворов помещали в вials для хроматографического парофазного анализа и герметично закрывали. Анализ проводили на газовом хроматографе Clarus 500 с пламенно-ионизационным детектором.

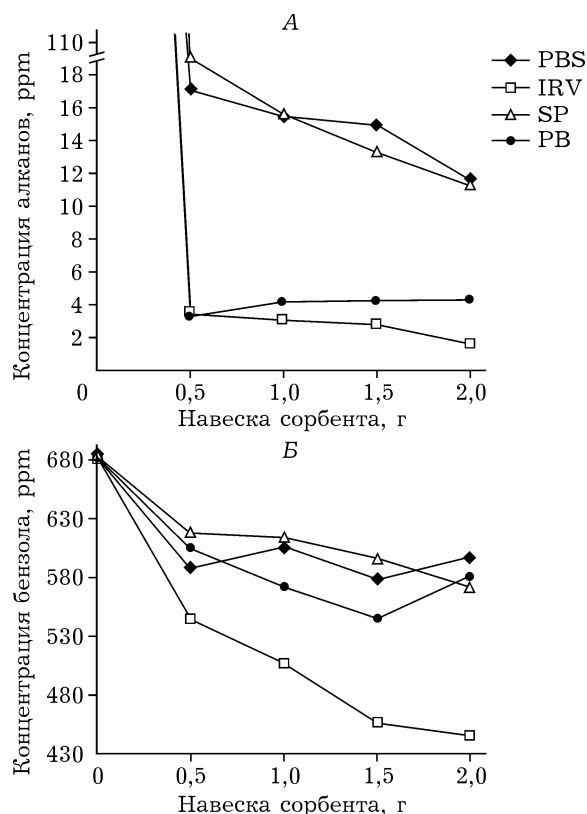


Рис. 2. Концентрация в воде после взаимодействия с разными сорбентами: А – насыщенных углеводородов; Б – бензола (PBS – торфяной основной сорбент; IRV – полипропиленовые волокна; SP – верховой торф; PB – кора сосны)

Условия статического парофазного анализа обеспечивали парофазной дозирующей приставкой TurboMatrix 40. Образцы термостатировали в течение 5 мин при 90 °С, ввод пробы 0,04 мин без деления потока. Хроматографирование проводили с применением капиллярной колонки Elite-1 30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм в режиме программирования температуры от 40 до 120 °С со скоростью нагрева 8 град/мин, газ-носитель – азот.

Лучшие адсорбционные свойства по отношению к насыщенным углеводородам проявили кора сосны и полимерные волокна “Irvelen” (рис. 2, А), а к ароматическим углеводородам – волокна “Irvelen” (рис. 2, Б).

Лабораторный колоночный эксперимент. Перед проведением полевых испытаний образцы сорбентов, показавших лучшие адсорбционные свойства, дополнительно опробованы в лабораторном колоночном эксперимен-

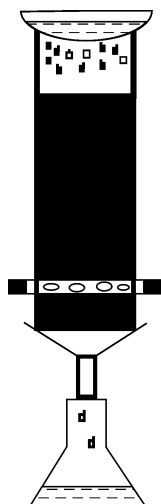


Рис. 3. Лабораторный колоночный эксперимент

те, моделирующем природные условия эксплуатации сорбентов.

Колонки почвы, загрязненной нефтепродуктами, отобрали на исследуемом участке и поместили в пластиковые трубы внутренним диаметром 100 мм и высотой 700 мм. Высота отобранных колонок почвы составила 0–600 мм. Отбор производили путем обкапывания и погружения до необходимого уровня вертикально установленных пластиковых труб. Для проведения эксперимента отобрали три колонки почвы из одного места.

В нижней части каждой колонны на уровне 100 мм от края прорезали сквозное отверстие, в которое вставили пластиковую перфорированную трубку с внутренним диаметром 22 мм (рис. 3).

В перфорированные трубки двух колонок поместили по одному виду сорбента (“Irvelen” и кора сосны) в марлевых капсулах. Для сравнения параллельно проводили холостой опыт с колонкой почвы, в перфорированную трубку которой закладывали марлю без сорбента.

Перфорированные трубки закрывались с двух сторон пробками. В колонки приливали дистиллированную воду с периодичностью 2 раза в неделю, моделируя дождевание. За 1 мес. влита годовая норма осадков. По Ханты-Мансийскому району это составляет 500–600 мм/г. С учетом площади сечения колонок общий объем добавленной воды составил 4 л. При периодичности дождевания 2 раза в не-

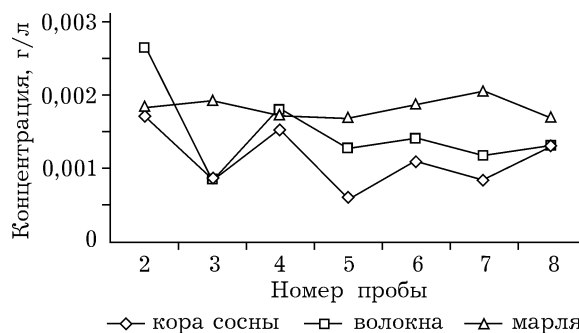


Рис. 4. Динамика изменения концентрации нефтепродуктов в воде при очищающем воздействии сорбентов

делю в каждую колонку вливали 500 мл воды за один прием. После каждого вливания выходящую из колонок воду собирали, выделяли углеводороды 3-кратной экстракцией н-гексаном в делительной воронке в кислой среде ($\text{pH} < 2$). Содержание углеводородов определяли весовым методом. Ввиду низкой растворимости нефтепродуктов в воде концентрации вымываемых веществ были на уровне предела обнаружения метода (1,4–1,6 мг/л).

Эксперименты показали, что сорбция нефтепродуктов на сорбентах в водной среде не является однородным процессом. С течением времени происходит активная сорбция нефтепродуктов на сорбентах, затем следует сброс (смыв) накопившихся на сорбентах загрязнений. Количество нефтепродуктов, вымываемых из колонны в холостом опыте (марля), изменяется незначительно и в среднем превышает значения в экспериментах с сорбентами в 1,2–1,6 раза (рис. 4).

Для повышения эффективности очистки в дальнейшем необходимо точно установить объемы удерживания загрязнений на сорбенте и определить время периодической замены сорбента в трубах.

В проведенных экспериментах кора сосны и полимерные волокна мало различаются по сорбционной способности. Оба могут быть рекомендованы к использованию в полевых условиях. Но из-за отсутствия достаточного количества измельченной коры сосны для очистки почвы от нефтяного загрязнения выбраны полиэфирные волокна “Irvelen”.

Возможности метода CLEANSOIL позволяют использовать также и биологическую

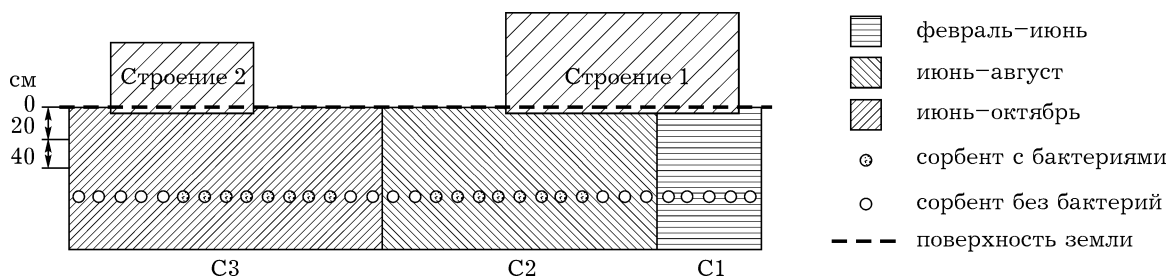


Рис. 5. Вертикальный профиль тестового участка

очистку почвы. В рамках данного проекта для изучения возможности улучшения технологии очистки к части сорбента добавляли специальные бактерии, разрушающие нефтяные углеводороды. Группа биологов Warsaw University of Technology выделила из почвы исследуемого участка культуру углеводород-редуцирующих бактерий, произвела наращивание биомассы и нанесение бактерий на сорбент.

Полевые исследования. На рис. 5 приведен вертикальный профиль тестового участка. Большая часть участка – открытая площадка. Имеются два строения: металлическая клетка (строение 1) для хранения нефтепродуктов в бочках, установленная на металлических опорах на высоте 1 м от поверхности земли; металлический нефтяной резервуар (строение 2), установленный на поверхности почвы.

Буровые работы и прокладывание перфорированных труб на глубине 45–50 см произведены в ноябре 2006 г.

Для закладки сорбента и проведения мониторинга нефтяного загрязнения тестовый участок разделен на три условные зоны: С1, С2 и С3. В зоне С1 закладка сорбента без бактерий в трубы произведена в феврале 2007 г., изменение концентрации загрязнений фиксировали в июне 2007 г. В зонах С2 и С3 закладку сорбента произвели в июне 2007 г. На одной половине каждой зоны С2 и С3 заложен обычный сорбент (полимерные волокна «Irvelen»), а на второй – сорбент с добавлением УВ-редуцирующих бактерий.

Уровень загрязнения в зоне С2 фиксировали в августе, а в зоне С3 – в октябре 2007 г. Таким образом, были обеспечены мониторинговые исследования в период с февраля по октябрь 2007 г. Уровень загрязнения фикси-

ровали относительно фона, определенного по результатам исследования зон С2 и С3 в июне 2007 г. перед закладкой сорбента.

Условия отбора проб и аналитических исследований. Отбор проб производили ручным колоночным пробоотборником. Поверхностные пробы отбирали с глубины 0–20 см, подземные – 20–40 см. Каждую пробу отбирали в шести точках в пределах зоны отбора в шахматном порядке. Из точечных проб готовили объединенные – перемешиванием. На исследование отбирали 1,0 кг усредненной пробы почвы и помещали в специальный пластиковый пакет, химически инертный к определяемым веществам.

Доставленные в лабораторию пробы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и перемешивали до однородного состояния. Из каждой пробы брали две навески и отдельно направляли на два вида анализа:

- гравиметрическое определение нефтяных углеводородов, имеющих точки кипения между н-гептаном (C_7) и н-пентатриоконтаном (C_{35}). Вещества выделяли экстракцией н-гексаном;
- гравиметрическое определение суммы органических веществ, включая углеводороды, нефтяные смолы, природные растительные битумоиды. Вещества выделяли экстракцией хлороформом.

К навеске почвы (~50 г, точность взвешивания до 0,01 г) добавляли 40 мл экстрагента (н-гексан или хлороформ) и встряхивали в течение 5 мин на автоматическом встряхивателе. Давали отстояться в течение 1 ч, затем сливали аликвоту экстракта в мерный цилиндр. Экстракцию повторяли с такой же порцией растворителя. Аликвоты сливали вместе и измеряли суммарный объем. Полученную суммарную аликвоту обезвоживали

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

безводным сульфатом натрия, растворитель выпаривали на ротационном испарителе примерно до 1 мл при 40 °С. Остатки растворителя отдували в токе азота при комнатной температуре, количество нефтепродуктов определяли весовым путем. Расчет количества нефтяных углеводородов (или суммы органических веществ) производили по формуле:

$$C = (m \times 1\,000\,000 \times Ve) / (M \times Va), \quad (1)$$

где C – концентрация органических веществ в почве, мг/кг; m – масса экстрагированных веществ в аликвоте, г; Ve – суммарный объем экстрагента, мл; Va – суммарный объем аликвоты, мл; M – навеска почвы, г.

Хроматографический анализ почв на содержание нефтяных углеводородов. Для выяснения вопроса о том, какие изменения происходят в составе нефтяного загрязнения при совместном воздействии сорбента и микроорганизмов, предприняты углубленные исследования состава углеводородов в выборочных пробах почвы методом хромато-масс-спектрометрии. Применяли капиллярную колонку Elite-1 30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм в режиме программирования температуры от 40 до 260 °С со скоростью нагрева 5 град/мин, дальнейший подъем температуры – со скоростью 8 град/мин до 330 °С, газ-носитель – гелий. Температура источника электронов масс-спектрометра – 250 °С.

Мониторинг нефтяного загрязнения. Нефтепродуктами при анализе почвы и воды принято считать не- или малополярные **нефтяные углеводороды**, растворимые в н-гексане, являющиеся основной частью нефти [4]. В данной работе нефтяные углеводороды выделены из образцов почвы экстракцией н-гексаном.

Кроме углеводородов в составе нефтяных загрязняющих веществ значительную долю составляют нефтяные смолы, битумы, мазуты, т. е. высокомолекулярные и высококипящие вещества. Они накапливаются и хорошо сохраняются в почве и донных отложениях. С течением времени из нефтяных остатков образуются продукты, растворяющиеся в воде и загрязняющие грунтовые воды. Нефтяные смолы, асфальтены, нефтяные остатки выделены из образцов почвы хлороформом, и, наряду с углеводородами, установлено изменение их концентрации.

Результаты исследования изменения концентрации нефтяных углеводородов (гексановые экстракты) и суммы органических веществ (хлороформенные экстракты) в почве при применении метода CLEANSOIL приведены на рис. 6 и 7.

Главной особенностью тестового участка явилась крайняя неравномерность нефтяно-

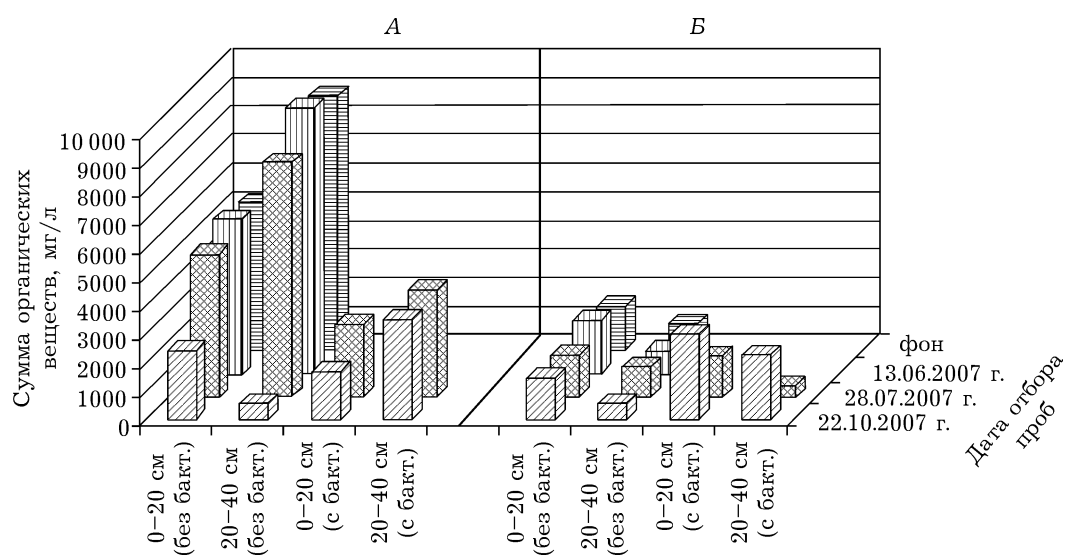


Рис. 6. Мониторинг нефтяного загрязнения тестового участка по результатам гравиметрического определения н-гексановых экстрактов почвы в образцах, отобранных: А – под строениями; Б – на открытом участке

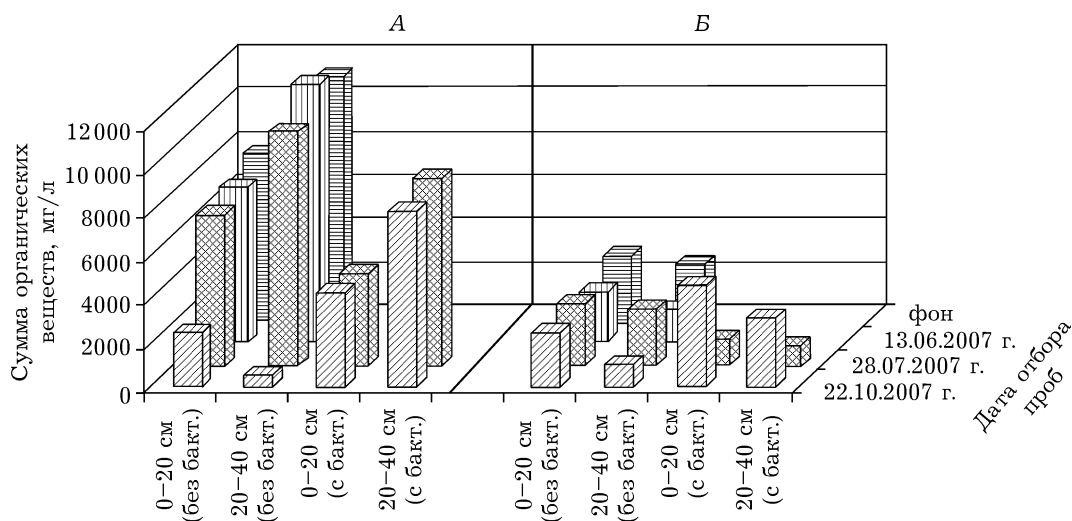


Рис. 7. Мониторинг нефтяного загрязнения тестового участка по результатам гравиметрического определения хлороформных экстрактов почвы в образцах, отобранных: А – под строениями; Б – на открытом участке

го загрязнения. Выброс нефтепродуктов в почве всегда происходит локально, загрязнение представляет собой размытое пятно или ручей нефтепродуктов от места утечки в сторону понижения рельефа. Такие пятна трудно выявить по внешнему виду, особенно в дождливое время года. Пробы почв, отобранные из таких пятен, почти всегда содержат завышенные концентрации загрязнителей и, к сожалению, не могут рассматриваться в сравнении с другими участками.

По этой причине на тестовом участке в некоторых локальных пробах (поверхностной и подземной с бактериями, отобранных на открытых участках в октябре 2007 г.) концентрации нефтяных веществ оказались значительно выше, чем среднее фоновое загрязнение. Мы были вынуждены не рассматривать эти пробы в сравнении с другими.

По результатам исследования фоновых проб, отобранных перед закладкой сорбента, средний уровень нефтяного загрязнения почвы под строениями оказался в 5–10 раз выше, чем на открытых участках. Причем подземные пробы (20–40 см) под строением содержали примерно в 1,5 раза больше загрязнений, чем поверхностные (0–20 см). На открытых участках распределение загрязнения по глубине обратное – в подземных пробах

загрязнения меньше в 1,2–1,7 раза, чем на поверхности. Вероятно, на открытых участках активные атмосферные процессы и солнечная радиация способствуют рассеянию нефтепродуктов как с поверхности, так и из более глубоких слоев почвы. А под строениями загрязнение проникает глубже в почву и там накапливается.

После первых месяцев работы сорбента (отбор проб 13.06.2007 г.) практически не наблюдалось изменения уровня загрязнения. Только на открытом участке незначительно уменьшилось содержание нефтяных углеводородов и суммы органики как на поверхности, так и в глубине почвы (см. рис. 6 и 7). Учитывая, что данный период работы сорбента охватывает конец зимы и весну, уменьшение концентрации загрязнения не является показателем сорбционной очистки. Эти эффекты могут быть связаны с выносом загрязнений талыми водами. Под строениями вымывания нефтепродуктов не происходило и уменьшения загрязнения почти не наблюдалось.

Летом, когда уровень грунтовых вод понизился, сорбционная активность сорбента без бактерий заметно усилилась. На рис. 6 и 7 (по пробам, отобранным 28.07.2007) видно, что под строениями наблюдается явное уменьшение концентрации загрязнения во

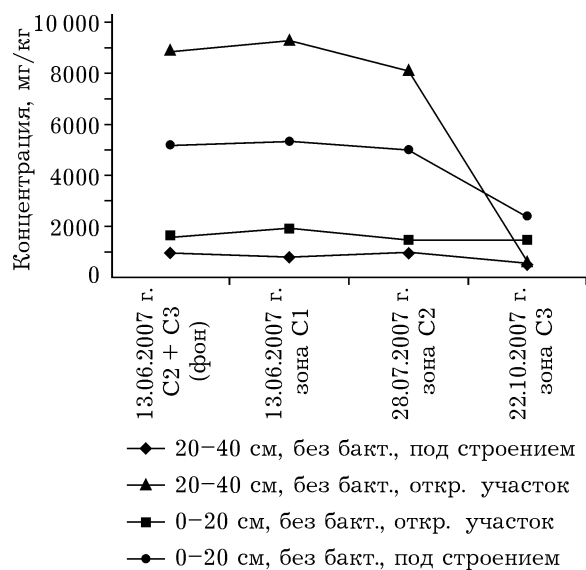


Рис. 8. Изменение уровня концентрации углеводородов в почве над сорбентом без бактерий с июня по октябрь 2007 г.

всех слоев почвы. К октябрю концентрация нефтяных углеводородов на глубине 20–40 см снизилась в 14 раз, а на поверхности (0–20 см) – в 2 раза по сравнению с исходной фоновой. Аналогично изменяются концентрации суммы органических веществ (см. рис. 7). Явная сорбционная очистка почвы наблюдается вблизи труб с сорбентом на глубине 20–40 см. И чем выше уровень загрязнения, тем более очевидно изменение концентрации. На открытых участках, где фоновое (начальное) загрязнение ниже, концентрации органики с

июня по октябрь понизились до уровня проб под строениями (рис. 8).

Добавление к сорбенту микроорганизмов, потребляющих нефтяные углеводороды, увеличивает эффективность очистки почвы. Во всех подземных образцах уровень загрязнения уменьшился уже к середине лета, когда уровень грунтовых вод еще был высок и сорбент находился во влажном состоянии. С июня по август содержание нефтяного загрязнения снизилось в среднем в 1,5–3 раза по сравнению со среднефоновым уровнем. Необходимо отметить, что на открытых участках, хорошо прогреваемых солнцем, уровень загрязнения уменьшился в большей степени. Вероятно, редуцирующая активность бактерий по отношению к нефтяному загрязнению в большой степени определяется температурой поверхностных слоев почвы и меньше зависит от уровня влажности.

По результатам хромато-масс-спектрометрического анализа (рис. 9 и 10) выяснилось, что воздействие бактерий приводит к резкому уменьшению доли высокомолекулярных алканов нормального строения (состава $C_{28}-C_{40}$) в составе углеводородов почвы и соответственно возрастает относительная концентрация низкомолекулярных алканов. В составе других углеводородов заметных изменений за наблюдаемый срок воздействия бактерий не происходит. В целом над сорбентом с бактериями наблюдается более раннее снижение углеводородного фона,

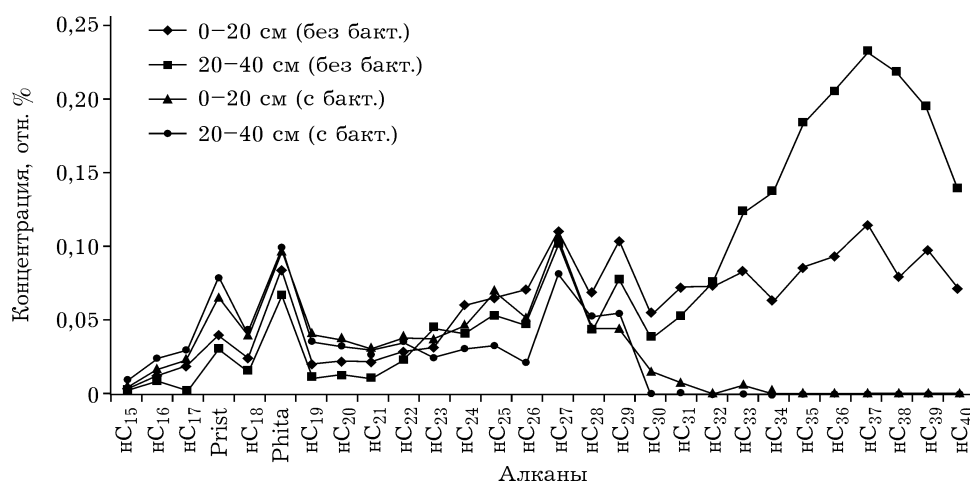


Рис. 9. Распределение n-алканов и изопреноидов в углеводородах почвы до и после воздействия сорбента с бактериями на открытом участке

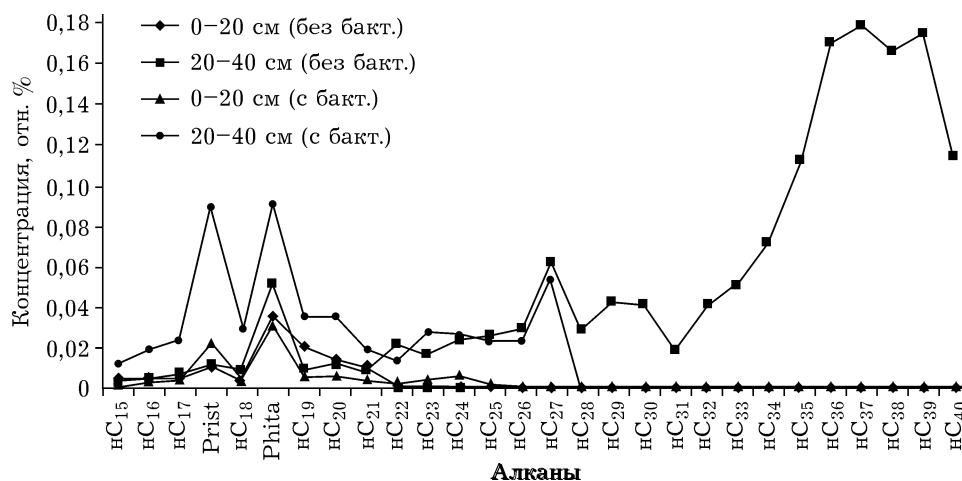


Рис. 10. Распределение n-алканов и изопреноидов в углеводородах почвы до и после воздействия сорбента с бактериями под строениями

чем над сорбентом без бактерий. Аналогичное явление зафиксировано другими исследователями [5, 6]: внесение углеводородредуцирующих бактерий в нефтезагрязненную почву уже через 2 мес. приводит к деструкции около 30 % нефтяных углеводородов, а через 12 мес. деструкция достигает 70–75 %.

Несомненно, примененные в методе CLEAN SOIL бактерии, культивированные группой коллег из Warsaw University of Technology, нанесенные на сорбент, обладают отмеченным свойством разрушать наиболее стабильные в обычных условиях высокомолекулярные алканы. Этот эффект известен из литературных источников и отмечен в многочисленных лабораторных экспериментах по разрушению нефтяных углеводородов различными бактериями [5, 6]. Можно ожидать, что при дальнейшем воздействии будут разрушаться и другие высокомолекулярные структуры, переходя в более подвижные формы, которые лучше извлекаются сорбентами, испаряются и рассеиваются. Мы предполагаем, что наблюдаемые изменения в составе нефтяного загрязнения приведут к включению механизмов самоочистки почвы дополнительно к эффекту адсорбции и в целом ускорят очистку территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение технологии CLEAN SOIL:

1) позволяет снизить уровень нефтяного загрязнения до 1000–2000 мг/кг, когда появляется возможность дальнейшего самоочистки почвы;

2) снижает уровень загрязнения за один летний сезон;

3) при добавлении к сорбенту УВ-редуцирующих бактерий увеличивает эффективность очистки, причем уменьшение загрязнения происходит как при высоком, так и при низком уровне грунтовых вод;

4) при воздействии бактерий приводит к уменьшению доли высокомолекулярных веществ и образованию более подвижных молекул, которые лучше извлекаются сорбентами либо испаряются с поверхности почвы.

Необходимо отметить, что технология CLEAN SOIL защищена Европейским патентом (№ EP 1 009 553 B1) и в настоящее время направлена на развитие и внедрение в странах ЕЭС, РФ и Украине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. М.: РЭФИА НИИ-Природа, 2001. С. 7–16.
2. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. Москва; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2005. С. 101–190.
3. Классификация и диагностика почв России. М., 2004.
4. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. СПб., 2000. С. 16–17.

5. Сопрунова О.Б., Сангаджиева О.С., Кляюнова М. А. Экспериментальное изучение биологической очистки нефтезагрязненных почв накопительной микробной культурой // Экологические системы и приборы. 2004. Т. 11. С. 12–15.

6. Коронелли Т. В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводов в окружающей среде // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32, № 6. С. 579–585.

CLEANSOIL as a Perspective Method for the On-Site Remediation of Oil Polluted Soil under Existing Infrastructures

Yu. V. KORZHOV, E. D. LAPSHINA, D. I. KHOROSHEV, A. V. ZAHARCHENKO,
M. G. KULKOV, D. M. YARKOV

*Yugra State University
628012, Khanty-Mansiysk, Chekhov str., 16
E-mail: ykor1962@mail.ru*

The paper presents the results of the two-years investigation of a new method of restoration of the oil-polluted soil – CLEANSOIL, which combines the physicochemical and biological methods of the removal of oil pollution. It is shown that application of this combined technology allows one to decrease the concentration of oil pollution in soil within a short time down to the level at which the possibility of self-purification of the soil arises.

Key words: oil-polluted soil, new purification method, CLEANSOIL technology.