

ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГРУНТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ: ОПЫТ НИДЕРЛАНДОВ

КОРОЛЕВ В.А.

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

ФИЛИМОНОВ С.Д.

ЗАО «Геомассив»

Одной из важных проблем, с которой все чаще в последнее время сталкиваются строители, является наличие загрязненных грунтов на застраиваемых участках. Особенно велики масштабы загрязнений на урбанизированных территориях городов, промзон, складских участках, вдоль транспортных магистралей и т.п. Нередко массивы загрязненных грунтов формируются в городах на территориях бывших промышленных объектов: закрытых фабрик, заводов, ликвидированных складов и т.п., а также в результате аварий. Здесь в качестве загрязнителей-экоотоксикантов чаще всего выступают тяже-

лые металлы, нефть и нефтепродукты, хлорорганические соединения и др. Их концентрация в грунтах застраиваемых территорий может превышать ПДК (или ПДУ) в сотни, тысячи раз и более. В этом случае при строительстве жилых и промышленных сооружений чаще всего прибегают к выемке загрязненного грунта путем его экскавации со всей застраиваемой площади. Однако, в целом ряде случаев это неэкономично или нецелесообразно по ряду причин: огромные объемы загрязненного грунта; наличие близко расположенных зданий (в условиях плотной городской застройки); отсутствие технологий и возможностей по утилизации извлеченного загрязненного грунта и т.п. В этом случае единственным выходом является очистка грунта от загрязнений на месте в массиве (in situ), без его экскавации. В настоящее время во многих странах (Нидерланды, Дания, Япония, США, Германия, Китай, Корея, Испания, Швеция, Бельгия, Великобритания, Норвегия и др.) активно внедряются инновационные промышленные технологии очистки загрязненных грунтов в массиве. Среди них наиболее перспективной и универсальной является технология электрокинетической очистки, которая основана на создании в загрязненном массиве поля постоянного электрического тока, под действием которого в грунте возникают электрокинетические процессы массопереноса (электроосмос, электрофорез, электромиграция и др.), позволяющие извлекать из грунта экоотоксиканты [1,2].

Широкое промышленное внедрение в практику строительства эта технология получила в Нидерландах, где работают такие компании как TNO Environment, Geokinetics, Hak Milieutechniek, Holland Milieutechniek и др. В августе 2007 года авторы этой статьи знакомились с опытом работы голландской компании Holland Milieutechniek, занимающейся технологиями в области охраны окружающей среды и имеющей многолетний опыт работы по очистке грунтов от загрязнений на застраиваемых территориях, и пришли к соглашению о намерении совместной работы на российском рынке. Российская компания «Геомассив» (генеральный директор С.Д.Филимо-



Рис.1. Контейнер с электрокинетическим оборудованием на загрязненной территории Гаагского университета



Рис.2. Сепаратор и система фильтров внутри контейнера для электро-биоочистки грунтов



Рис.3. Распределитель трубопроводов внутри контейнера для подачи питательных компонентов и откачки фильтрата в системе электро-биоочистки грунтов

нов) совместно с голландской компанией Holland Milieutechniek выполняет проекты по очистке грунтов от различных загрязнений без выемки грунта (in situ). Работа российской и голландской компаний проводится в соответствии с соглашением между ними о разделе их функций. В активе голландской стороны десятки уже реализованных проектов по очистке грунтов как в Нидерландах, так и за рубежом (Япония, Китай и др.), выполненные за последние 15 лет.

Основу используемых голландской компанией инновационных технологий очистки грунтов составляет электрокинетический метод очистки — применение поля постоянного электрического тока, вызывающего в массиве грунта явления электроосмоса, электромиграции, электроокисления, электролиза, электрофореза и т.п., с помощью которых токсикант извлекается из грунта и (или) разлагается на месте. Компания реализует различные варианты очистки (или их комплекс), в зависимости от особенностей загрязненной территории.

РЕАЛИЗУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

1) Электро-биоочистка грунтов — совместное действие электрокинетических процессов электроразогрева грунта и активизации аборигенной бактериальной микрофауны для разрушения загрязнителя грунта в массиве. В этой технологии применяются ряды скважин, расположенных на очищаемой территории и выполняющих роль катодов и анодов, пространство грунта между которыми очищается как за счет действия электроосмоса, так и за счет активизации биоочистки при контролируемом электроразогреве грунта. Температура в массиве повышается до 30–75°C в зависимости от типа загрязнения. Одновременно используется специальный экран для извлечения парообразных компонентов (летучих углеводородов и т.п.) из грунта и подземных вод, а также используется жидкая питательная среда для активизации жизнедеятельности микроорганизмов. Технология применяется для любых ви-

дов дисперсных грунтов (от песков до глин) и любых загрязнителей (нефть, нефтепродукты, ароматические углеводороды, летучие органические соединения, хлорорганика и т.п.).

2) Электрокинетическая очистка — применение рядов скважин, выполняющих роль катодов и анодов, для создания поля постоянного электрического напряжения в очищаемом массиве грунта. В этом поле полярные (заряженные) загрязнители мигрируют к электродам в поровом пространстве грунта и извлекаются в сепаратор с откачиваемым фильтратом.



Рис.4. Контроль температуры грунта в термометрической скважине в ходе электро-биоочистки нефтезагрязненного грунта на территории Гаагского университета



Рис.5. Автомойка и автозаправочная станция в Гааге, вокруг которых сформировался очаг грунтов, загрязненных нефтепродуктами и моющими веществами

том. В разных вариантах применяются схемы с промывкой массива (подачи в анодные скважины анолита — выщелачивающей жидкости) или без промывки. Выщелачивающий водный раствор подбирается индивидуально в зависимости от типа загрязнителя и состава грунта. Технология применима для всех видов дисперсных грунтов, особенно глинистых, и позволяет очищать массив от любых полярных загрязнителей (тяжелые металлы, органика, фенолы, спирты, радионуклиды и т.п.).

ПРЕИМУЩЕСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ ЭТИХ ТЕХНОЛОГИЙ.

- Очистка массива на месте (in situ) без выемки грунта;
- Значительная глубина очистки (до 10 м и более, в принципе, она ограничивается лишь глубиной скважин-электродов);
- Неограниченность очистки по площади;
- Возможность очистки территорий при их плотной застройке (во дворах, между жилыми зданиями, историческими объектами и т.п.);



Рис.6. Закладка электрических кабелей и трубопроводов, соединяющих катодные и анодные скважины

- Очистка грунтов от любого токсиканта, в том числе от комплекса органических и неорганических загрязнителей;
- Возможность очистки любых дисперсных грунтов (от песков до глин) и др.

Некоторые примеры реализованных проектов в Нидерландах представлены на нижеследующих фотографиях. Первый объект, с которым знакомились авторы, располагался на уже застроенной территории Гаагского университета (рис.1). Проведенные эколого-геохимические обследования выявили на территории университета значительный очаг техногенного загрязнения грунтов зоны аэрации нефтепродуктами и ароматическими соединениями. Поскольку граница загрязненных грунтов подходила вплотную к зданиям университета, то о выемке грунта не могло быть и речи. В условиях плотной застройки на всей загрязненной территории университета была применена технология электро-биоочистки и размещена система анодных и катодных скважин, соединенных в анодную и катодную системы кабелем и



Рис.7. Скважина, оборудованная электродами, фильтрами и подводящей системой трубопроводов и кабеля



гибкими трубопроводами из полимерных материалов. Источник тока, система управления электропитанием, фильтры, сепараторы и прочее электрокинетическое оборудование размещалось в металлическом контейнере, который временно устанавливался на очищаемой территории (рис.1–3). Контроль процесса очистки и температуры в межскважинном пространстве осуществлялся в ходе мониторинга через специальные наблюдательные скважины (рис.4).

Другой объект также находился на городской территории в Гааге. Загрязнение этой территории нефтепродуктами и моющими веществами произошло из-за нарушений в ходе длительной эксплуатации размещенной здесь автозаправочной станции и автомойки (рис.5).

Эколого-геохимическое обследование показало загрязнение всего этого участка, как в зоне аэрации, так и в грунтовых водах. Поскольку эта территория также находится в условиях плотной застройки, к тому же на свободной от застройки части территории высажены десятки деревьев, то экскавацию грунта выполнить было невозможно.

После снятия асфальта и брусчатки на этой территории была размещена система анодных и катодных скважин (рис.6,7), и применена технология электрокинетической очистки. Скважины подсоединялись к источникам электропитания, а также соединялись системой гибких трубопроводов. На рис.6 показана закладка электрических кабелей и трубопроводов.

Бурение скважин под электроды проводится с помощью легких буровых установок и шнеков соответствующего диаметра. Расстояние между скважинами определяется свойствами загрязненного грунта, гидрогеологическими условиями и др. и составляет обычно от 3–5 м до 6–8 метров. Расстояние между рядами — до 10 м и более.

Для фильтров электроосмотических скважин применяются специальные пластмассовые трубы с

дренажными отверстиями. Общий вид одной из электроосмотических скважин, оборудованной кабелем электропитания и трубами для дренажа, показан на рис.7.

Откачиваемый фильтрат с токсикантом собирается в сепараторе, затем проходит через систему фильтров. Все это дополнительное оборудование, включая управляющий компьютер, насосы, сепараторы, фильтры и т.п., размещается в специальном контейнере, который временно устанавливается на очищаемой территории и огораживается сетчатым забором на весь период реализации проекта. Общий вид такого контейнера на рассматриваемом объекте вблизи автомойки и АЗС в Гааге показан на рис.8.

Внутри контейнера располагаются насосы, система электропитания, система компьютерного контроля, сепараторы, системы водоочистки и т.п. Внутренний вид контейнера показан на рис.9, а управляющий компьютер в нем — на рис.10.

Проекты по очистке грунтов от различных тяжелых металлов (меди, свинца, цинка, кадмия и др.), мышьяка и цианидов были реализованы в Гронингене, Дельфте, Военсдrechtе, Штадсканаале (очищено свыше 2,5 тыс. м³), Оостбурге, Утрехте, Гааге и др. городах Нидерландов. Грунты, загрязненные нефтепродуктами, ароматическими углеводородами, были очищены на территориях таких городов как Гаага, Лейден, Ворден (свыше 5 тыс. м³), Амстердам, Масслуис (свыше 1,5 тыс. м³), Шайк (ок. 3,5 тыс. м³), Апелдоорн (свыше 9 тыс. м³), Дордрехт, Маасдарм (свыше 9 тыс. м³), Хорст (5 тыс. м³), Дельфт (9 тыс. м³) и др. Проекты по очистке грунтов, загрязненных токсичными хлорорганическими соединениями, были реализованы в Ниувпорте (около 7,7 тыс. м³), Ассене, Гааге, Цейсте (7,2 тыс. м³), Гронингене, Эйндховене (свыше 2 тыс. м³ и 200 тыс. м³ подземных вод), Амстердаме и др. городах. В г.Эйнсхede было



Рис. 8. Контейнер с электрокинетическим оборудованием для очистки грунтов от нефтепродуктов вблизи автомойки в Гааге

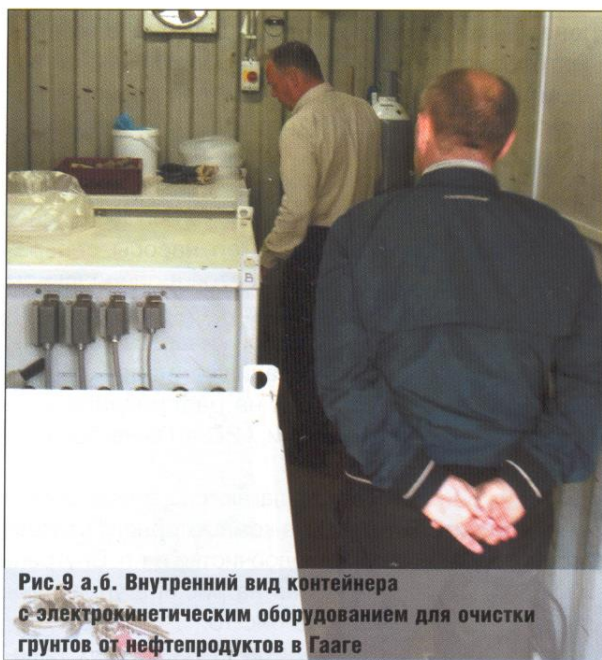


Рис.9 а,б. Внутренний вид контейнера с электрокинетическим оборудованием для очистки грунтов от нефтепродуктов в Гааге

очищено свыше 5,5 тыс. м³ грунтов, загрязненных асбестом. В этих проектах применялись различные варианты технологий электрокинетической очистки: электро-биоочистка, электроочистка с промывкой (выщелачиванием) и без и т.п.

Объемы очищаемых грунтов не ограничены по площади (в уже реализованных проектах площадь очистки составляла от 10–40 соток до 1–2 Га).

Глубина очистки обычно составляла до 8–10 м от поверхности (в большинстве случаев не более 3–4 м), однако в ряде случаев она может быть увеличена до 15–20 м и более. Объемы очищенных грунтов в уже реализованных проектах составляли от 0,5–5 тыс. м³ до 70–100 тыс. м³. (Например, один гектар, загрязненный на глубину 10 м дает объем в 100 тыс. м³ загрязненного грунта).

Продолжительность очистки территории определяется степенью ее загрязненности, площадью и особенностями грунтов и токсикантов. На сроки влияют и гидрогеологические условия территории. Минимальные сроки очистки обычно составляют от одного полевого сезона (4–7 месяцев) до года, максимальные сроки в отдельных сложных случаях достигают до 2–3 лет (при высоком уровне загрязнения и большой площади очага).



Рис.10. Управляющий компьютер внутри контейнера с электрокинетическим оборудованием

Важно отметить, что сроки очистки не зависят от сезона — очистка проводится круглогодично (включая и зимний период) в автоматизированном режиме: после сборки системы и ее подключения к электрической сети режим очистки управляется компьютером (рис.10), а сотрудниками в ходе мониторинга лишь периодически контролируются параметры очистки и изменение степени загрязненности грунта.

Стоимость очистки определяется теми же факторами, что и сроки очистки (степень загрязненности, глубина загрязненности, вид загрязнителя-токсиканта, площадь-объем загрязнений, затраты и стоимость электроэнергии и т.п.). В уже реализованных проектах стоимость очистки составляла за 10–20 соток от 100 тыс. до 250 тыс. евро и более. В зависимости от этих факторов стоимость очистки 1 м³ грунта от неорганических загрязнителей составляет от 20–30 до 90–150 евро; стоимость очистки кубометра грунта от органических загрязнителей — от 15–25 до 50–100 евро.

СЛЕДУЕТ ОТМЕТИТЬ, ЧТО ПО СРАВНЕНИЮ С ВЫЕМКОЙ (ЭКСКАВАЦИЕЙ) ЗАГРЯЗНЕННОГО ГРУНТА ДАННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ КОНЕЧНО ДОРОЖЕ. ОДНАКО ПРИ ЭТОМ НЕОБХОДИМО ИМЕТЬ В ВИДУ РЯД ФАКТОРОВ:

- вывозимый экскавацией загрязненный грунт создает очаг загрязнения на новой территории, в этой связи подобная практика за рубежом запрещена. В ближайшем будущем следует ожидать принятия аналогичного законодательства и в России;
- в целом ряде случаев экскавация грунта бывает невозможна по многим причинам, таким как большие объемы перемещаемого грунта, соседство с уникальными природными и архитектурными объектами и т.п. В этих случаях очистка *in situ* является единственно возможным способом;
- в условиях плотной городской застройки выемка загрязненного грунта невозможна без нарушения устойчивости соседних зданий. В этом случае очистка грунта *in situ* — единственный выход.

Затраты электроэнергии в предлагаемой технологии не являются существенной статьей финансовых затрат и составляют лишь часть стоимости проекта в целом. Они определяются стоимостью электроэнергии за 1 кВт час, площадью объекта, периодом и объемами очищаемого грунта. Например, для периода очистки в один год для объема очищаемого грунта в 10 тыс. м³ энергозатраты могут составлять от 100 тыс. до 500 тыс. кВт/час. В среднем затраты электроэнергии для очистки 1 м³ грунта составляют ориентировочно 10–50 кВт/час·м³.

Контроль за эффективностью очистки территории осуществляется в ходе мониторинга. Перед началом работ составляется техническое задание на очищаемую территорию. Независимая организация проводит эколого-геохимическое обследование территории, выявляя степень загрязненности грунтов по площади и по глубине, состав токсиканта (токсикантов). При этом строится карта исходной загрязненности территории и разрезы к ней. Далее заказчик устанавливает пороговый уровень загряз-



нителя (его допустимую концентрацию), до которого необходимо провести очистку по одному или нескольким компонентам-загрязнителям. Исходя из анализа всего комплекса факторов, определяется стоимость очистки. На основе этих документов составляется договор по реализации проекта.

Работы по реализации проекта ведутся в три основных этапа: 1) подготовительный — размещение сети скважин и установка оборудования; 2) основной — главный период очистки; 3) завершающий — доочистка до требуемого уровня и демонтаж оборудования. После начала работ по очистке компания осуществляет мониторинг очистки, отслеживая динамику очистки и объемы очищаемых грунтов. В ходе мониторинга, в конечном итоге, определяется срок окончания работ, если к данному времени достигнута требуемая степень очистки. Далее та же (или иная) независимая компания вновь проводит обследование уже очищенной территории и составляет отчет с итоговой картой, отражающей состояние территории после очистки. Если требуемый уровень очистки достигнут, работы прекращаются, и проект считается выполненным. Если этот уровень не достигнут, работы по очистке продолжаются, т.к. система очистки до этого момента остается не демонтированной. Возможность повторной очистки (доочистки) в этом случае не исключается. Демонтаж оборудования позволяет сохранить большинство электродов, труб, кабельных сетей и т.п. для последующего использования на других объектах.

Для гарантированной реализации очистки территории сначала предлагается выполнить на ограниченном участке (площадью до 10 соток) демонстрационный проект. Срок реализации демонстрационного проекта — примерно 6–7 месяцев, его приблизительная стоимость от 150 до 250 тыс. евро.

ПОЭТАПНЫЙ ГРАФИК РАБОТ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ МОЖЕТ БЫТЬ СЛЕДУЮЩИМ.

- посещение объекта представителями российской и голландской компаний;
- выбор участка для демонстрационного проекта;
- подготовка соглашения о проведении демонстрационного проекта;
- обследование территории и выявление уровня ее загрязнения;
- отгрузка материалов и оборудования;
- установка оборудования;
- запуск системы;
- управление очисткой и ее мониторинг;
- завершение очистки, демонтаж системы и составление отчета;
- обсуждение планов очистки оставшихся территорий с заключением соответствующего соглашения.

По желанию заказчика этот график может быть скорректирован и дополнен. Однако подобная схема хорошо себя зарекомендовала в уже реализованных проектах.

Надеемся, что представленные материалы и предложенный план найдут заинтересованность, понимание и будут полезны для решения ряда экологических задач на урбанизированных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. — М., МАИК Наука/Интерпериодика, С. 2001, 245.
2. Королев В.А. Электрохимическая очистка загрязненных грунтов. — Геоэкология, 2003, №3, С. 226-236.
3. Korolev V.A., Romanyukha O.V. Remediation of oil-polluted soils by the electrochemical lixiviation. Book of Abstracts of 6th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2007), Vigo (Spain), 12-15 June, 2007. / Edited by C.Cameselle et al. — Vigo, 2007, pp. 119-120.



НЕЗАВИСИМАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ, ПРОГРАММ, СМЕТ И МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

ОАО ПНИИС, основной институт в области инженерных изысканий в Российской Федерации, предоставляет услуги по проведению НЕЗАВИСИМОЙ экспертизы технических заданий, программ, смет и материалов инженерных изысканий. Большая часть нормативных документов, определяющих состав и порядок проведения инженерных изысканий, подготовлены в ОАО ПНИИС. Институтом разрабатываются и обновляются справочники базовых цен. Проводится работа по надзору за качеством проведения инженерных изысканий для крупных заказчиков, таких как ОАО «Газпром», ОАО «НК «Роснефть», ОАО «Транснефть» и других. Высококвалифицированные эксперты ОАО ПНИИС предоставляют консультации изыскательским организациям, их заказчикам, органам государственной власти исполнительной, законодательной и судебной.

ОБРАЩАЙТЕСЬ К НАМ, И МЫ ВАМ ПОМОЖЕМ

105187, Москва, Окружной проезд, д.18
Тел.: +7 (495) 366-3189, факс: +7 (495) 366-3190
E-mail: mail@pniiis.ru www.pniiis.ru