

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 504.064.47: 550.837.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-151-164

*Е.А. ШАБАНОВ, С.М. ПРОСТОВ, О.В. ГЕРАСИМОВ,
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева*

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ НА ОПЫТНОМ ПОЛИГОНЕ

Дан краткий анализ методов очистки от нефтезагрязнений в основаниях строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений. Рассмотрена возможность очистки грунтов электрохимическим методом с использованием системы оперативного геофизического мониторинга в натуральных условиях. Описаны методика проведения натуральных испытаний метода контролируемой электрохимической очистки грунта от нефтезагрязнений и экспериментальная установка. Изложены результаты инженерно-геологических изысканий грунтового массива, искусственно насыщенного нефтепродуктами (отработанным маслом, бензином). Детализированы процессы образования зон осушения, скопления нефтепродуктов при электроосмотическом переносе, изменения структуры грунта в результате фазового преобразования и растворения нефтепродуктов. Установлено явление коагуляции нефтепродуктов в порах грунта при электрообработке, приводящее к увеличению крупности песчаных и глинистых компонентов и грунта, способствующее его дезактивации. Экспериментально доказана эффективность электрохимической очистки малопроницаемых песчано-глинистых грунтов.

Ключевые слова: основания зданий и сооружений; загрязнение; нефтепродукты; глинистые грунты; удельное электросопротивление; гранулометрический состав; влажность; плотность.

Для цитирования: Шабанов Е.А., Простов С.М., Герасимов О.В. Натурные исследования процессов загрязнения нефтепродуктами и электрохимической очистки грунтов оснований сооружений на опытном полигоне // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 151–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-151-164

*E.A. SHABANOV, S. M. PROSTOV, O.V. GERASIMOV,
Gorbachev Kuzbass State Technical University*

FIELD STUDIES OF ELECTROCHEMICAL PURIFICATION OF FOUNDATION SOIL FROM OIL PRODUCTS

The paper presents a brief analysis of methods of foundation soil purification from oil products. A method of electrochemical soil purification is suggested using the system of opera-

tional geophysical monitoring in natural conditions. A full-scale test method of controlled electrochemical soil purification and the experimental setup are described. The results of engineering-geological surveys of the soil massif artificially saturated with oil products (waste oil, gasoline) are presented. The formation of drainage zones, accumulation of petroleum products during electroosmotic transfer, soil structure changes caused by the phase transformation and dissolution of petroleum products are presented. the phenomenon of coagulation of oil products in soil during the electrical processing leading to the increase in the particle size in sand and clay components due to changes in the electrical soil resistance. The experiments prove the efficiency of electrochemical cleaning of low-permeable sandy-clay soils.

Keywords: soil foundation; contamination; oil products; clay soils; electrical resistivity; particle size distribution; humidity; density.

For citation: Shabanov E.A., Prostov S.M., Gerasimov O.V. *Naturnye issledovaniya protsessov zagryazneniya nefteproduktami i elektrokhimicheskoi ochistki gruntov osnovanii sooruzhenii na opytном poligone* [Field studies of electrochemical purification of foundation soil from oil products]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 151–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-151-164

Введение

Одним из распространенных загрязнителей грунтов при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений являются нефтепродукты (топливо, горюче-смазочные материалы при эксплуатации строительных машин и механизмов) [1–3]. Способы очистки от нефтезагрязнений делятся на четыре типа: физические, химические, физико-химические, биохимические [4–8]. Сформировалось три основных подхода в борьбе с нефтезагрязнителями: непосредственное удаление нефтепродукта за счет его извлечения из грунта; подавление активности (детоксикация) нефтепродукта на месте, непосредственно в массиве; локализация нефтепродукта в массиве за счет создания вокруг аномалии защитного экрана, препятствующего дальнейшему распространению нефтезагрязнений.

При обработке малопроницаемых глинистых грунтов, находящихся под строящимися или эксплуатируемыми зданиями, сооружениями или дорогами, где малоэффективны напорные методы насыщения массива дезактивирующим раствором, весьма перспективен метод электрохимической очистки, основанный на комплексном воздействии активным веществом и электрическим током [9–11]. Основные физические процессы при электрообработке состоят в следующем:

- растворение загрязнителя легкими фракциями с последующей откачкой;
- электротермическое воздействие, приводящее к изменению фазового состояния загрязнителя.

При воздействии электрического тока на дисперсный грунт в той или иной степени меняется его микроструктура и его физические характеристики, в том числе электропроводящие и диэлектрические свойства [12].

Для выявления закономерностей изменения физических свойств грунтов при электрохимической очистке от нефтезагрязнений в лаборатории КузГТУ были проведены исследования и получены результаты [13–15], которые позволили перейти к изучению процессов загрязнения и очистки грунтов в натуральных условиях.

Методы исследования

Проведено испытание метода контролируемой электрохимической очистки грунтов от нефтезагрязнений в натуральных условиях на опытном полигоне ООО «НООЦЕНТР»

При сохранении геометрической адекватности условия лабораторного эксперимента существенно отличаются от натуральных. Принципиальные отличия состоят в следующем:

- ограниченность объема грунта изолирующими поверхностями приводит к искажению физических полей (электрических, гидро- и термодинамических);
- исключается взаимодействие зоны обработки с прилегающим грунтовым массивом;
- не учитывается взаимовлияние пар электродов в многоэлектродных установках;
- не обеспечивается интегральный геофизический контроль процессов в зоне обработки;
- не учитывается изменение физических свойств грунтового массива под воздействием атмосферы.

Проведение натурального эксперимента позволило проверить достоверность установленных в лабораторных условиях закономерностей.

Для производственных исследований процессов, протекающих в массиве грунта при электрохимической очистке от нефтезагрязнений, был подготовлен экспериментальный участок глинистого грунтового массива. План опытного участка, схема подключения электродов и электросиловой установки представлены на рис. 1.

Вблизи места, предназначенного для очистки, были установлены электросиловая установка (силовой трансформатор ТС-40, выпрямитель-преобразователь), емкости для хранения загрязняющих веществ (отработанное масло и бензин АИ-80).

Постоянный ток от установки к электродам подавался по кабелям типа КГ 4×25-0,66. С помощью установки специальной конструкции, разработанной в КузГТУ, возможно регулировать силу тока от 0,1 до 40 А и напряжение до 360 В. Так как обработка массива проводилась непрерывно, то в целях безопасности вокруг обрабатываемого участка было поставлено ограждение, а также осветительные фонари. В качестве электродов были использованы перфорированные стальные трубы диаметром 57 мм. Глубина их погружения составила 2,3 м. Для электрохимической очистки применялась порядная схема подключения электродов, при этом полярность имела вид: «катод-анод-катод». Расстояние между рядами электродов – 1200 мм, а между разноименными по полярности электродами – 600 мм.

Глинистый массив, находившийся в естественном состоянии, был искусственно загрязнен нефтепродуктом для проведения эксперимента, для чего в шпур диаметром 12 мм на глубину 700 мм (объем полости около 80 мл) был залит загрязнитель. Отверстия расположены через 80–100 мм равномерно во всех направлениях. Нефтезагрязнитель из полостей впитался в грунт, проникая вглубь и в стороны, тем самым была сформирована загрязненная зона с минимальной глубиной до 2 м, что соответствует параметрам загрязнения грунта в естественных условиях (рис. 2).

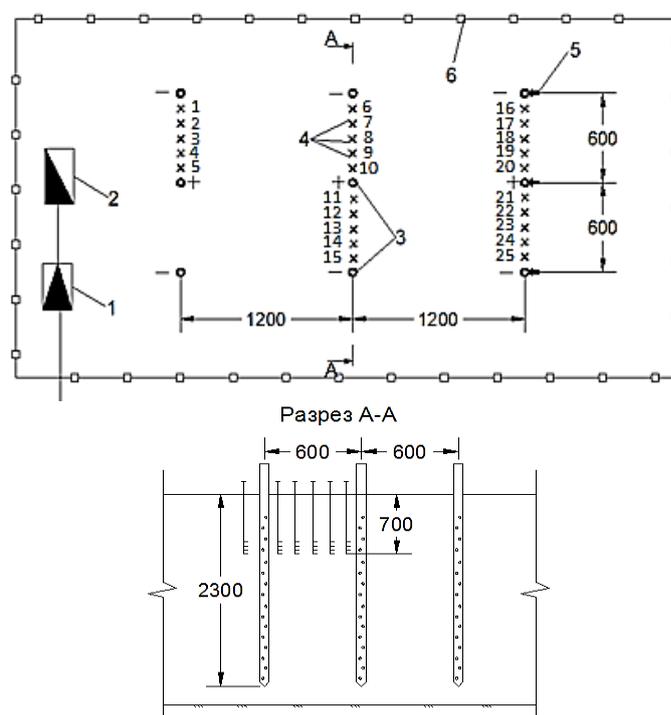


Рис. 1. Схема установки для проведения натурального эксперимента:
 1 – силовой трансформатор; 2 – выпрямитель-преобразователь; 3 – электроды-инъекторы; 4 – микродатчики электросопротивления; 5 – подача Гексан-н; 6 – временное защитное ограждение



Рис. 2. Вид зоны загрязнения и зоны электрохимической обработки:
 1 – массив, загрязненный отработанным маслом; 2 – массив, загрязненный бензином; 3 – массив, загрязненный отработанным маслом с обработкой растворителем; 4 – массив, загрязненный бензином с обработкой растворителем; 5 – чистый глинистый массив

Основные параметры опытной установки следующие:

- количество электродов-инжекторов – 9;
- глубина обработки – 2,3 м;
- расстояние между электродами-инжекторами – 0,6 м;
- диапазон плотности тока – 8–20 А/м²;
- время обработки – 168 ч;
- общий токорасход $I \cdot t$ – 3650 А·ч;
- режимы обработки – электроосмотический незагрязненного массива, электроосмотический загрязненного массива, электроосмотический с разжижением загрязнителя растворителем гексан-н;
- загрязняющий нефтепродукт – бензин АИ-80; отработанное автомобильное масло (ShellHelixUltra).

На всех этапах экспериментальных исследований проводился непрерывный физико-технический контроль процессов в зоне электрообработки, включающий инженерно-геологические изыскания и геофизический мониторинг, как локальный (микродатчиками удельного электросопротивления – УЭС), так и интегральный (электрическое зондирование).

После начала электрообработки глинистого массива измерения всех основных характеристик производились два раза в сутки, при этом электросиловая установка отключалась. По окончании электрообработки грунтов в наиболее характерных местах (чистый участок, загрязненный маслом и загрязненный бензином участок) производился отбор проб и определялись физико-механические свойства и гранулометрический состав грунта.

Общая продолжительность обработки грунта током составила более 168 ч при токорасходе на одну пару электродов-инжекторов более 600 А·ч. Первый участок с чистой глиной обрабатывался методом электроосмоса без добавления жидкостей в электроды, чтобы сравнить полученные при этом данные с результатами по обработке загрязненного глинистого массива. Второй и третий участки, загрязненные соответственно отработанным маслом и бензином, обрабатывались электрическим током без применения активного вещества – растворителя. Четвертый и пятый участки, также загрязненные отработанным маслом и бензином, обрабатывались электрическим током и активным веществом – растворителем гексан-н. Растворитель подавался в электрод-анод в моменты времени $t = 48$ и 60 ч в объеме 4 л за один прием. График изменения режима электросиловой установки представлен на рис. 3.

Результаты исследования

Для определения физических свойств грунтов была отобрана серия образцов на участках до загрязнения глинистого массива, после его загрязнения нефтепродуктом, после завершения электрохимической обработки.

Результаты исследований физических свойств грунтов до и после обработки массива приведены в табл. 1, а гранулометрического состава грунта – в табл. 2.

Из данных табл. 1 следует, что в грунте как в чистом, так и в загрязненном различными нефтепродуктами состояниях после электрообработки происходит химическое связывание влаги и нефтепродукта, что приводит к об-

щему снижению влажности грунта на 3–6 % и снижению его плотности на 3–7 % как во влажном, так и в сухом состояниях. При загрязнении грунта нефтепродуктами произошло увеличение влажности, т. к. увеличилось содержание поровой жидкости на опытном участке грунта. В сравнении с результатами лабораторных исследований изменения влажности и плотности менее существенны, что связано с влиянием атмосферы и близрасположенного массива, находящегося в состоянии естественной влажности.

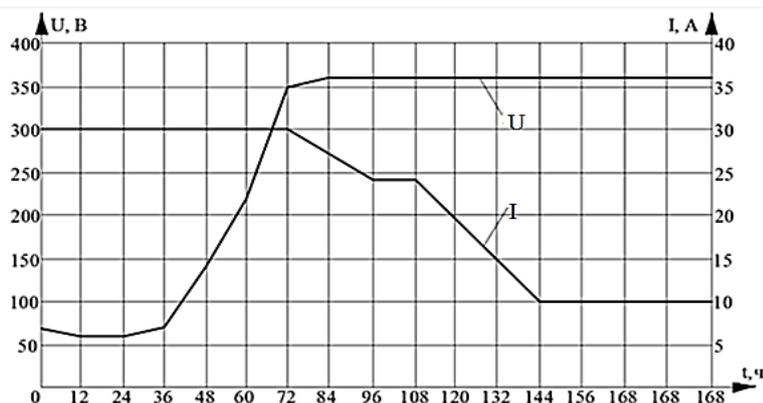


Рис. 3. Изменение напряжения U и силы тока I за время t электрообработки

Таблица 1

Изменение физических параметров грунта в результате электрообработки

Номер образца	Характеристики (до загрязнения/до обработки/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³
№ 1 – чистая глина	19,7/19,7/14,6	1,82/1,82/1,73	1,52/1,52/1,51
№ 2 – загрязнение маслом	19,7/20,1/17,1	1,82/1,80/1,71	1,52/1,5/1,46
№ 3 – загрязнение бензином	19,7/19,8/15,5	1,82/1,82/1,71	1,52/1,52/1,48
№ 4 – загрязнение маслом с применением растворителя	19,7/20,1/15,7	1,82/1,91/1,79	1,52/1,59/1,55
№ 5 – загрязнение бензином с применением растворителя	19,7/19,8/14,8	1,82/1,87/1,77	1,52/1,56/1,54

В гранулометрическом составе грунта установлены существенные изменения:

– В чистом грунте установлено небольшое снижение (с 48 до 40 %) содержания фракции < 0,1 мм и увеличение фракций 0,5, 0,25 и 0,1 мм.

– В загрязненном отработанным маслом грунте происходит значительное увеличение (с 18,8 до 23,4 %) количества частиц фракций 0,1 мм, небольшое увеличение количества частиц фракций 0,25, 0,5 мм и значительное

(с 46,1 до 27,6 %) уменьшение частиц фракции < 0,1 мм вследствие процессов коагуляции масла, слипания мелких частиц, при этом вероятен переход нефтепродукта из жидкого состояния в твердое, которое считается менее токсичным и экологически вредным. Следует отметить, что при электрохимической обработке растворителем этот процесс проходил с меньшей интенсивностью, чем при обработке электрическим током без растворителя.

– В загрязненном бензином грунте происходит значительное увеличение (с 18,8 до 24,4 %) количества частиц фракции 0,1 мм, небольшое увеличение количества частиц фракции 0,25, 0,5 мм, при этом происходит значительное (с 46,1 до 34,9 %) уменьшение частиц фракции < 0,1 мм как при обработке с растворителем, так и без растворителя. Увеличение количества более крупных частиц в грунте, загрязненном отработанным маслом, происходит интенсивнее, чем при загрязнении бензином, т. к. отработанное масло более густое, чем бензин, оно в большей степени обволакивает частицы грунта при загрязнении и электрообработке.

Таблица 2

**Изменение гранулометрического состава грунта
в результате электрообработки**

Номер образца	Содержание фракций (мм), % (до/после обработки)				
	2	0,5	0,25	0,1	< 0,1
№ 1 – чистая глина	2/2,2	17,6/18,5	15,5/17,4	18,8/21,2	46,1/40,7
№ 2 – загрязнение маслом	2/3	17,6/20,2	15,5/21,3	18,8/27,9	46,1/27,6
№ 3 – загрязнение бензином	2/2,5	17,6/19,7	15,5/18,5	18,8/24,4	46,1/34,9
№ 4 – загрязнение маслом с применением растворителя	2/1,8	17,6/17,8	15,5/16,6	18,8/29,4	46,1/34,4
№ 5 – загрязнение бензином с применением растворителя	2/2,8	17,6/19,3	15,5/19,2	18,8/27,7	46,1/31

На рис. 4 все изменения гранулометрического состава, описанные выше, представлены в графическом виде. Из графиков следует, что наиболее существенные качественные изменения гранулометрического состава грунтов происходят в диапазоне от < 0,1 до 0,25 мм.

После прекращения электрообработки было произведено извлечение грунта из загрязненной и обработанной зоны со снятием слоями толщиной от 8 до 12 см, при этом производили фотофиксацию и сопоставляли полученные данные о физических свойствах грунта с фактическим его состоянием.

Было обнаружено, что глина при загрязнении бензином имеет темнорозовый цвет на глубину от 40 до 80 см. При загрязнении отработанным маслом глина приобрела черный цвет, который наблюдался на глубину от 80 до 140 см. При разработке по всей глубине грунт не имел трещин, у поверхности на глубину до 70 см видны отверстия, пробитые для загрязнения участка нефтепродуктами.

В прикатодной и прилегающей к ней зоне грунт рыхлый и легко крошится, а возле анода – прочный и не осыпается. Грунт на контакте с электродом-инжектором очень прочный и образует наросты на трубах толщиной до 3 см.

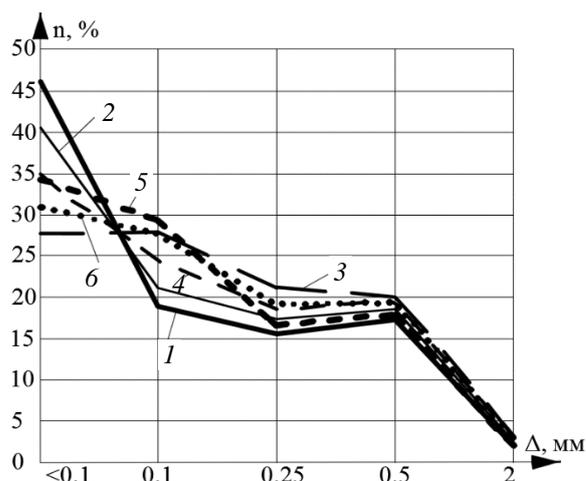


Рис. 4. Изменение гранулометрического состава грунта в зависимости от вида обработки и времени:

1 – чистая глина до электрообработки; 2 – чистая глина после электрообработки; 3 – загрязнение отработанным маслом после электрообработки; 4 – загрязнение бензином после электрообработки; 5 – загрязнение отработанным маслом после электрообработки с растворителем; 6 – загрязнение бензином после электрообработки с растворителем

На аноде на глубине от 50 см и ниже образовался налипший закаменевший кусок глинистого массива с цветом глины, характерным для загрязнения отработанным маслом. На рис. 5, а видно расположение и размер этого нароста в соотношении с диаметром трубы (57 мм). В приэлектродных зонах грунт по всей глубине проявляет отблеск и отличается по цвету: в зоне катода грунт серо-желтого цвета; у анода – темно-серого и темно-коричневого цвета, что соответствует по окончании эксперимента более очищенному состоянию грунта около катода, и с наибольшим содержанием нефтепродуктов в твердом состоянии около анода. На рис. 5, б выделена зона с повышенным содержанием нефтепродуктов около анода. В случае загрязнения бензином глина имеет более естественный оттенок, а при загрязнении отработанным маслом – более серый и темный оттенок, что полностью соответствует виду, консистенции, цвету загрязнителя и согласуется с результатами определения физических свойств и гранулометрического состава грунта.

При разработке грунта на глубину до 150 см глина приобрела полностью естественный оттенок, и дальнейших изменений не происходило.

Анализ результатов инженерно-геологических изысканий позволил сделать следующие выводы:

– при пропускании электрического тока и воздействии его на нефтепродукты в порах грунта они переходят в твердое связанное состояние, и происходит уменьшение влажности, что соответствует результатам лабораторных исследований на одномерной и объемной моделях, однако диапазоны данных изменений ниже, что обусловлено дополнительным поступлением влаги из атмосферы и прилегающих грунтов с естественной влажностью;

– в результате электротермического воздействия постоянного тока на загрязненный массив происходит увеличение размера твердых частиц и их слипание, что приводит к изменению гранулометрического состава глинистого грунта в сторону увеличения содержания более крупных фракций; причем увеличение количества более крупных частиц происходит интенсивнее при загрязнении более вязким нефтепродуктом;

– при обработке грунта электрическим током снижение влажности грунта и увеличение процентного содержания крупных фракций приводит к снижению плотности грунта как во влажном, так и в сухом состоянии;

– процесс фазового преобразования нефтесодержащего продукта в порах грунта, обусловленный электрической и термической коагуляцией, происходит при любом виде нефтепродукта-загрязнителя; причем при использовании растворителя этот процесс происходит менее интенсивно, однако при этом увеличивается объем скапливания разжиженного нефтепродукта в прианодной области.

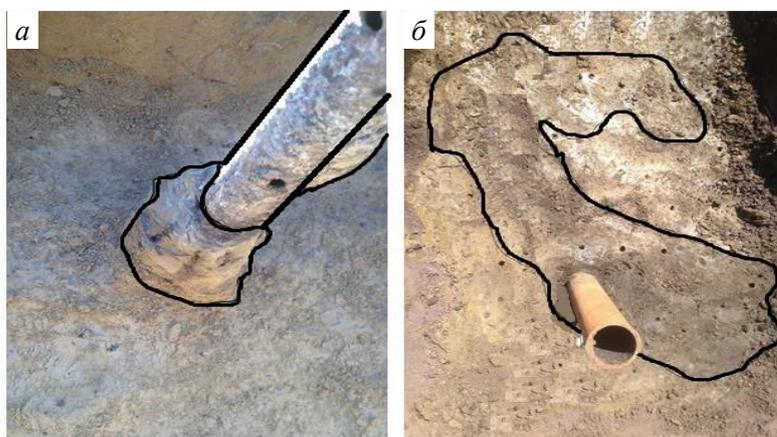


Рис. 5. Вид уплотненной прианодной зоны (а), вид зоны с повышенным остаточным загрязнением отработанным маслом (б)

Вторая часть натурального эксперимента была направлена на диагностирование зоны искусственного загрязнения грунта и мониторинг состояния этой зоны в процессе электрообработки.

Для измерения электрофизических параметров использовали две схемы: зондирование с земной поверхности, а также измерение с помощью заглубленных микродатчиков, устанавливаемых в глубине массива в специально пробуренные отверстия диаметра меньшего, чем датчики-микрозонды.

Для реализации четырехэлектродного метода зондирования с поверхности земли в грунт за пределами обрабатываемого участка забивали металлические питающие электроды, изготовленные из арматуры длиной 0,8 м, диаметром 20 мм, заостренные с одной стороны, а в качестве измерительных использовали электроды-инъекторы.

Метод заглубленных микродатчиков реализован при помощи 4-электродных датчиков-зондов с расстоянием между электродами 1 см. Глубину

установки 1 датчиков-зондов принимали из возможности максимального погружения их в грунт через отверстия глубиной 700 мм. Общее количество датчиков-зондов – 25, по 5 на каждую пару электродов, схема их размещения порядная. Измерения электрофизических свойств проводились прибором КП-2. По результатам контроля строили графики изменения УЭС ρ вдоль основной оси установки электрообработки и в зависимости от токорасхода.

Основные результаты, характеризующие процессы пространственно-временных изменений истинного УЭС грунтов, полученные с помощью системы микродатчиков, представлены на рис. 6.

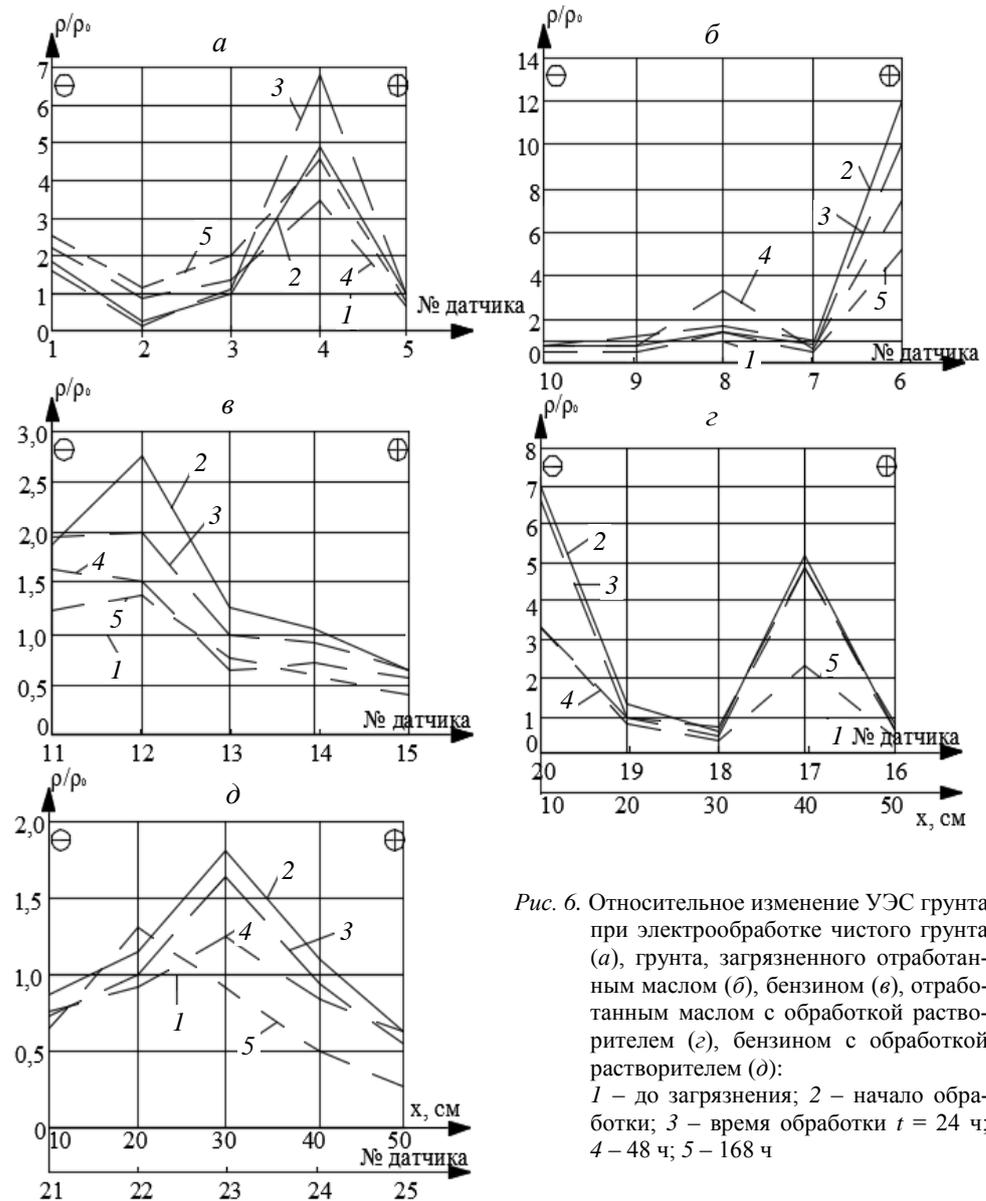


Рис. 6. Относительное изменение УЭС грунта при электрообработке чистого грунта (а), грунта, загрязненного отработанным маслом (б), бензином (в), отработанным маслом с обработкой растворителем (г), бензином с обработкой растворителем (д): 1 – до загрязнения; 2 – начало обработки; 3 – время обработки $t = 24$ ч; 4 – 48 ч; 5 – 168 ч

Из приведенных результатов эксперимента следует, что электроосмотические процессы в приэлектродных областях, оцениваемые по величине УЭС, при обработке чистого, загрязненного нефтепродуктом грунта и разжижение растворителем загрязненного нефтепродуктом грунта взаимосвязаны, но имеют при этом существенные отличия, обусловленные различием электропроводящих свойств порозаполняющего водного раствора с низким УЭС и нефтепродуктов в виде бензина, отработанного масла и растворителя с ярко выраженными диэлектрическими свойствами, которые, в свою очередь, обладают различной вязкостью.

Вместе с тем высокая разрешающая способность электрофизического мониторинга при данной схеме измерений позволяет существенно детализировать процессы, происходящие в зоне электрообработки и в приэлектродных областях.

Заключение

Основные результаты анализа приведенных графиков сводятся к следующему:

– В незагрязненном грунте (рис. 6, а) происходит постепенное перемещение влаги от катода к аноду (электроосмос), сопровождающееся уменьшением УЭС в месте сосредоточения влаги и увеличением УЭС в зоне электроосушения, при этом прианодная зона осушения по протяженности в два раза превышает зону влагонасыщения, формирование указанных зон происходит достаточно быстро – через 24 ч с момента начала электрообработки.

– В загрязненном отработанным маслом грунте (рис. 6, б) также происходит поступательное перемещение жидкостей, сопровождающееся изменениями УЭС, при этом на аноде формируется зона скопления нефтепродукта, о чем свидетельствует значительное увеличение УЭС около положительного электрода; около катода формируется зона с пониженным УЭС, что свидетельствует об уменьшении в прикатодной зоне концентрации нефтепродукта и увеличении количества влаги, которая обладает более низким электросопротивлением.

– В загрязненном бензином грунте (рис. 6, в) происходит постепенное изменение УЭС, при этом на катоде формируется зона скопления бензина, о чем свидетельствует постепенное увеличение УЭС, но к концу электрообработки УЭС снижается, что может быть связано с поступлением влаги к отрицательному электроду; около анода формируется зона с пониженным УЭС, что свидетельствует об уменьшении в этой зоне концентрации нефтепродукта.

– При подаче растворителя на анод жидкость распространялась в массив и скапливалась на катоде, при этом наблюдалось понижение электросопротивления в месте разжижения загрязнителя и распространения растворителя; так, в загрязненном отработанным маслом грунте (рис. 6, г) происходит постепенное перемещение влаги от катода к аноду в первом периоде обработки без растворителя, что приводит к снижению УЭС на положительном электроде и увеличению – на отрицательном электроде, но после добавления растворителя в поровом пространстве происходит смешивание жидкостей (влаги, растворителя и загрязнителя), что ведет к уменьшению УЭС в зонах скопления разжиженного раствора и увеличению в зонах массива, где процесс разжижения по причине отсутствия растворителя не произошел; около катода

после добавления растворителя происходит постепенное снижение УЭС, что свидетельствует о направлении течения растворителя в сторону отрицательного электрода.

– В загрязненном бензином грунте (рис. 6, д) происходит скопление влаги и испарение бензина около электродов в первом периоде обработки без растворителя, что приводит к снижению УЭС около электродов, а после добавления растворителя этот процесс еще в большей степени активизируется, тем самым около электродов формируются зоны с пониженным УЭС вследствие скопления разжиженной массы загрязнителя и уменьшения концентрации нефтепродукта, внутри же массива УЭС увеличивается из-за отсутствия там растворителя в необходимом объеме и оттока влаги из межэлектродного пространства к электродам; снижение УЭС на отрицательном электроде свидетельствует о том, что около катода формируется зона скопления разжиженного загрязнителя; это подтверждается визуальными следами нефтесодержащей жидкости в дренажных отверстиях электрода и частичным ее испарением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батракова Л.М., Рудакова Л.В., Нурисламова Т.В. Анализ нормативной базы по вопросу санирования промышленных зон (на примере площадки производства смазочных материалов) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 2 (22). С. 63–78.
2. Шибалова Г.В., Шкаредо В.А. Оценка возможности использования глинистых грунтов, загрязненных углеводородами, в строительных целях // Природообустройство. 2017. № 5. С. 50–57.
3. Деркачев В.А., Дмитриенко В.А. Снижение загрязнений грунта при строительстве автодорожного тоннеля // Научный Вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 8. С. 12–16.
4. Boukharov A., Balashov A., Timohin A., Ivanov A., Holin B. Receiving and use of streams of monodisperse ice granules for cleaning and deactivation of surface // Journal of Physics: Conference. Series «International Conference “Problems of Thermal Physics and Power Engineering”, РТПЕ 2017». 2017. P. 012131.
5. Litvinova T.E., Sulimova M.A., Cheremisina O.V. The use of a multifunctional sorbent based on ferromanganese nodules for neutralizing wastewater from oil refineries // International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology and Mining Ecology Management, Sgem17, Ecology, Economics, Education and Legislation. 2017. P. 1017–1024.
6. Morozov N.V., Ganiev I.M. Microbiological removal of engine oils from natural water using plant-derived sorbents // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. 2016. V. 7. № 5. P. 1728–1735.
7. Vorobeichik E.L., Kozlov M.V. Impact of point polluters on terrestrial ecosystems: Methodology of research, experimental design, and typical errors. Russian Journal of Ecology. 2012. № 2. P. 89–96.
8. Archegova I.B., Khabibullina F.M., Shubakov A.A. Optimization of the purification of soil and water objects from oil using biosorbents // Contemporary Problems of Ecology. 2012. № 6. P. 548–553.
9. Krapivsky E.I., Nekuchaev V.O., Beljaev A.E., Charnetsky A.D. Technology of thermal remediation of oil sludges and oil contaminated soils // 67th European Association of Geoscientists and Engineers, EAGE Conference and Exhibition, incorporating SPE EUROPE 2005 Extended Abstracts. 2005. P. 2753–2756.
10. Park S.W., Kim K.J., Baek K., Lee J.Y., Yang J.S. Alkaline enhanced-separation of waste lubricant oils from railway contaminated soil // Separation Science and Technology. 2010. V. 45. № 12. P. 1988–1993.

11. Tsai C.J., Feng C.H., Li J.H. Dual dispersive liquid-liquid microextraction for determination of phenylpropenes in oils by gas chromatography-mass spectrometry // *Journal of chromatography*. 2015. № 1410. P. 60–67.
12. Shtumpf G.G. Aqueous-physical properties of coal-measure rocks // *Journal of Mining Science*. 1993. № 6. P. 59–66.
13. Простов С.М., Шабанов Е.А. Электрофизический мониторинг процессов электроосмотической очистки грунтов от нефтезагрязнений на лабораторных установках // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2017. № 1 (119). С. 3–14.
14. Prostov S.M., Shabanov E.A. Electrophysical Monitoring of the Processes of Electroosmotic Treatment of Soil from Oil Pollution on Laboratory Installations // *Proceedings of the 8th Russian-Chinese Symposium «Coal in the 21st Century: Mining, Processing, Safety»*. Advances in Engineering Research. September. 2016. V. 92. P. 175–183.
15. Prostov S.M., Shabanov E.A. Diagnostics of Oil Pollution Zones by ElectroPhysical Method // *The Second International Innovative Mining Symposium – E3S Web of Conferences 21, 02007 (2017) DOI: 10.1051/e3sconf/20172102007*

REFERENCES:

1. Batrakova L.M., Rudakova L.V., Nurislamova T.V. Analiz normativnoj bazy po voprosu sanirovaniya promyshlennyh zon (na primere ploshchadki proizvodstva smazochnyh materialov) [Analysis of regulatory framework for rehabilitation of industrial areas (lubricant production site)]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika*. 2016. No. 2 (22). Pp. 63–78. (rus)
2. Shibalova G.V., Shkaredo V.A. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya glinistykh gruntov, zagryaznennykh uglevodorodami, v stroitel'nykh tselyakh [Possibility of using clay soils contaminated with hydrocarbons for construction purposes]. *Prirodoobustroistvo*. 2017. No. 5. Pp. 50–57 (rus)
3. Derkachev V.A., Dmitrienko V.A. Snizhenie zagryaznenii grunta pri stroitel'stve avtodorozhnogo tonnelya [Reducing soil contamination during the road tunnel construction]. *Nauchnyi Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2013. No. 8. Pp. 12–16 (rus).
4. Boukharov A., Balashov A., Timohin A., Ivanov A., Holin B. Receiving and use of streams of monodisperse ice granules for cleaning and deactivation of surface. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Pp. 012131.
5. Litvinova T.E., Sulimova M.A., Cheremisina O.V. The usage of a multifunctional sorbent based on ferromanganese nodules for neutralizing wastewater from oil refineries. *International Multidisciplinary Scientific Geoconference Sgem*. 2017. Pp. 1017–1024.
6. Morozov N.V., Ganiev I.M. Microbiological removal of engine oils from natural water using plant-derived sorbents. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. V. 7. No. 5. Pp. 1728–1735.
7. Vorobeichik E.L., Kozlov M.V. Impact of point polluters on terrestrial ecosystems: Methodology of research, experimental design, and typical errors. *Russian Journal of Ecology*. 2012. No. 2. Pp. 89–96.
8. Archegova I.B., Khabibullina F.M., Shubakov A.A. Optimization of the purification of soil and water objects from oil using biosorbents. *Contemporary Problems of Ecology*. 2012. No. 6. Pp. 548–553. (rus)
9. Krapivsky E.I., Nekuchaev V.O., Beljaev A.E., Charnetsky A.D. Technology of thermal remediation of oil sludges and oil contaminated soils. *Proc. 67th European Association of Geoscientists and Engineers*. 2005. Pp. 2753–2756.
10. Park S.W., Kim K.J., Baek K., Lee J.Y., Yang J.S. Alkaline enhanced-separation of waste lubricant oils from railway contaminated soil. *Separation Science and Technology*. 2010. V. 45. No. 12. Pp. 1988–1993.
11. Tsai C.J., Feng C.H., Li J.H. Dual dispersive liquid-liquid microextraction for determination of phenylpropenes in oils by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. 2015. No. 1410. Pp. 60–67.
12. Shtumpf G.G. Aqueous-physical properties of coal-measure rocks. *Journal of Mining Science*. 1993. No. 6. Pp. 59–66 .

13. *Prostov S.M., Shabanov E.A.* Elektrofizicheskiy monitoring processov ehlektroosmoticheskoy ochistki gruntov ot neftezagryaznenij na laboratornyh [Electrophysical monitoring of electroosmotic soil cleaning from oil products]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017. No. 1 (119). Pp. 3–14. (rus)
14. *Prostov S.M., Shabanov E.A.* Electrophysical Monitoring of the processes of electroosmotic treatment of soil from oil pollution on laboratory installations. *Proc. 8th Russ.-Chinese Symp. "Coal in the 21st Century: Mining, Processing, Safety". Ser. Advances in Engineering Research*. 2016. V. 92. Pp. 175–183.
15. *Prostov S.M., Shabanov E.A.* Diagnostics of oil pollution zones by electro-physical method . E3S Web of Conferences 21. *Proc. 2nd Sci. Conf. 'International Innovative Mining Symposium'*. 2017. P. 02007. DOI: 10.1051/e3sconf/20172102007.

Сведения об авторах

Шабанов Евгений Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, evgenshab@mail.ru

Простов Сергей Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, psm.kem@mail.ru

Герасимов Олег Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, gerasimov@noocentr.com

Authors Details

Evgenii A. Shabanov, PhD, A/Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya Str., 650000, Kemerovo, Russia

Sergei M. Prostov, DSc, Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya Str., 650000, Kemerovo, Russia

Oleg V. Gerasimov, PhD, A/Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya Str., 650000, Kemerovo, Russia