

УДК 504.064:550.837.31

Шабанов Е.А., аспирант (КузГТУ, г. Кемерово)

Простов С.М., профессор, д.т.н. (КузГТУ, г. Кемерово)

Shabanov Evgeniy, aspirant (KuzSTU, Kemerovo)

Prostov Sergey, professor, doctor of engineering sciences (KuzSTU, Kemerovo)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО РЕАГЕНТА

STUDY OF THE PROCESSES ELECTROCHEMICAL CLEANING OF SOIL FROM OIL POLLUTION WITH THE USE OF ACTIVE REAGENT

Аннотация:

Выявлены закономерности и диапазоны изменения физических свойств загрязненных грунтов при воздействии на массив электрического тока и химического реагента. Установлено явление коагуляции нефтепродуктов в порах грунта при электрообработке. Экспериментально подтверждены взаимосвязь физических процессов в зоне электрообработки с изменениями электросопротивления грунта.

Abstract:

Identified patterns and ranges of the physical properties of the contaminated soils when exposed to an array of electric current and a chemical reagent. Established phenomenon of coagulation of oil products in the pores under electric treatment. The regularities of the processes occurring in the soil and the relationship of these processes with the change of the electrical resistance of the soil.

Для выявления закономерностей изменения физических свойств грунтов при электроосмотической очистке от нефтезагрязнений в лаборатории КузГТУ были проведены исследования на объемной физической модели.

Основными задачами экспериментальных исследований были следующие:

- изучение пространственно-временных изменений свойств грунтов при электроосмотической очистке от нефтезагрязнений;
- изучение диапазонов физических параметров очищаемого массива;
- исследование процессов электрокоагуляции, способствующих переходу нефтепродуктов в твердое состояние.

Физическая модель представляла собой участок зоны электрохимической очистки с реальными поперечными размерами электродов и расстоянием

между ними в горизонтальном сечении (рис.1.). В качестве исследуемой среды применялся уплотненный суглинок, смешанный с помощью миксера с нефтепродуктом. Концентрация нефтезагрязнителя соответствовала реально возможному диапазону при постепенном периодическом загрязнении или при разливе нефти в результате аварии. Таким образом, все физические параметры модели не отличались от соответствующих параметров природы. Пространственно-временные изменения свойств массива оценивались по изменениям его удельного электросопротивления (УЭС), измеряемого с помощью системы датчиков-микрозондов. Более детально экспериментальная установка описана в работе [1].

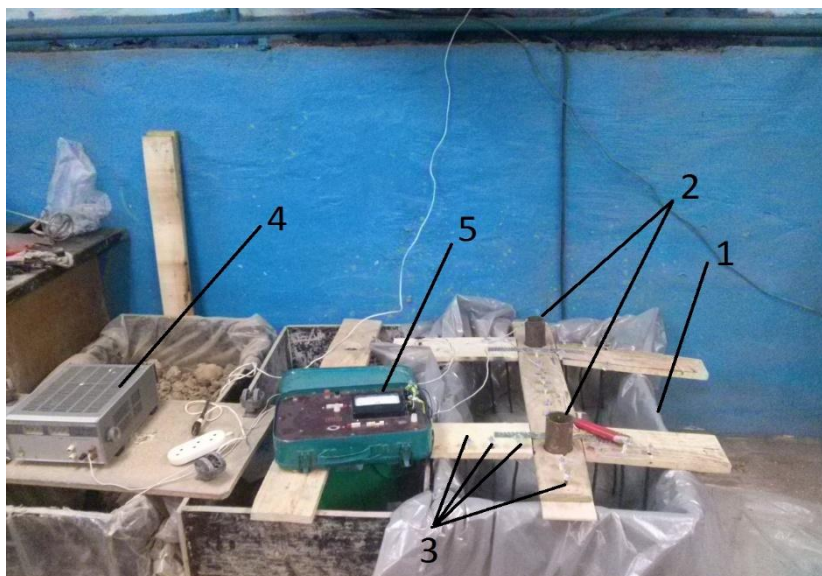


Рис.1 Экспериментальная установка:

1 – емкость (ванна); 2 – электроды-инъекторы; 3 – датчики-микрозонды; 4 – питающая установка - источник питания постоянного электрического тока В5-50; 5 – каротажный прибор КП-2

На первом этапе эксперимента обработка грунта велась электроосмотическим методом без введения в электроды-инъекторы активного реагента – растворителя (ванны №1 и №2). Было установлено, что основными результатами данного вида обработки являются коагуляция нефтепродуктов вследствие термического эффекта при пропускании электрического тока и перемещение природной и загрязняющей жидкостей в электрическом поле [2].

На второй стадии эксперимента была произведена параллельная обработка грунта в двух ваннах. В первую (№3) был загружен чистый суглинок массой 250 кг, перемешанный с водой (42 кг) и дизельным топливом (8,3 кг), а во вторую (№4) – суглинок с той же массой, перемешанный с водой (46 кг) и отработанным маслом – нефтезагрязнителем (8,2 кг). В процессе обработки в электроды-инъекторы подавался растворитель нефтепродуктов Гексан-н. На ванне с дизельным топливом промывающая жидкость подавалась на положительный электрод при токорасходе $I \cdot t = 11,4$ и $17,55$ А·ч и на отрицательный

электрод при $I \cdot t = 37$ и $42,8$ А·ч в объеме 400 мл. На ванне с отработанным маслом растворитель подавался на положительный электрод при $I \cdot t = 17,1$ и $35,4$ А·ч и на отрицательный электрод при $I \cdot t = 49,4$ и $61,1$ А·ч в объеме 600 мл за раз.

Графики изменения относительного УЭС по основной оси электрообработки при различных значениях токорасхода $I \cdot t$ приведены на рис.2 и 3.

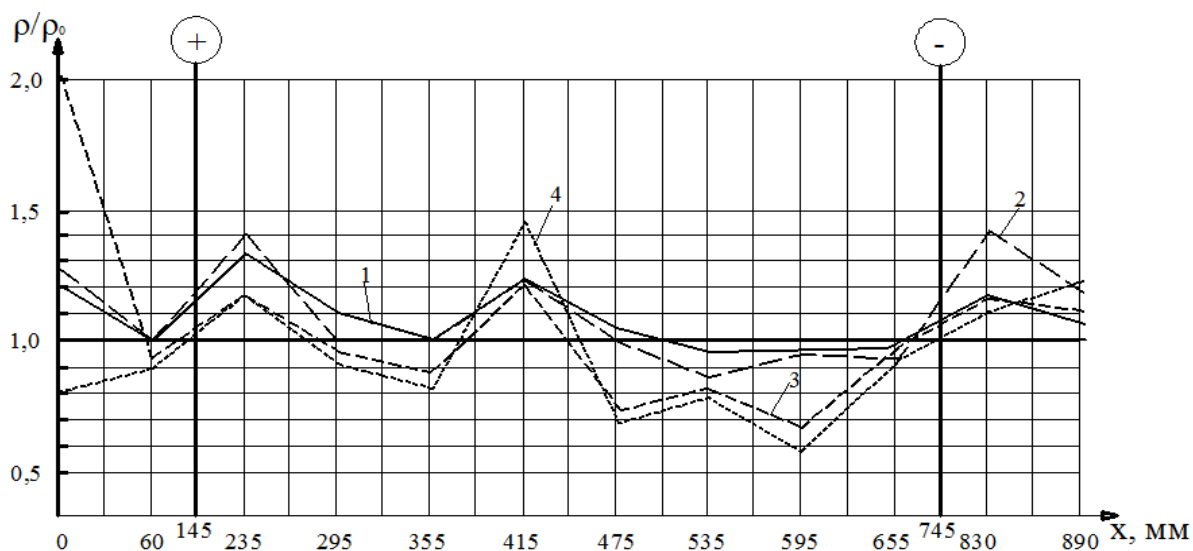


Рис.2. Изменение УЭС загрязненного дизельным топливом грунта с очисткой растворителем при электрохимической обработке:
1 – $I \cdot t = 13,8$ А·ч; 2 – $31,6$ А·ч; 3 – $42,8$ А·ч; 4 – $69,3$ А·ч

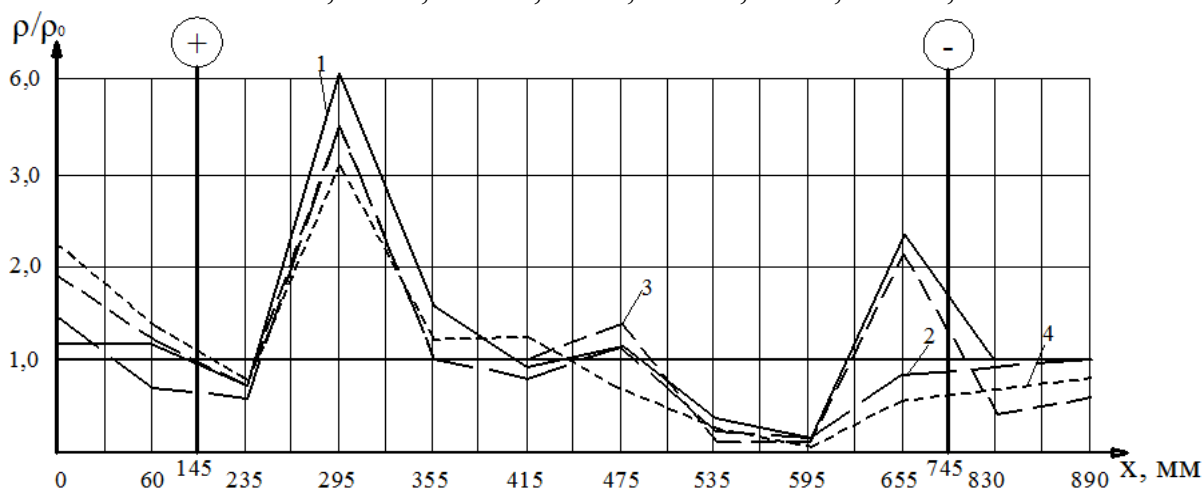


Рис.3. Изменение УЭС загрязненного отработанным маслом грунта с очисткой растворителем при электрохимической обработке:
1 – $I \cdot t = 17,1$ А·ч; 2 – $42,7$ А·ч; 3 – $87,1$ А·ч; 4 – 108 А·ч

Из приведенных результатов эксперимента следует, что электроосмотические процессы в приэлектродных областях при обработке растворителем грунта, загрязненного различными по вязкости и химическому составу нефтепродуктами, имеют общие тенденции, обусловленные высоким

электросопротивлением нефтепродуктов (все нефтепродукты проявляют ярко выраженные диэлектрические свойства $\rho > 10^7$ Ом·м):

- при подаче растворителя на анод, жидкость распространялась в массив, и скапливалась на катоде, после подачи растворителя на катод, жидкость частично распространялась в массив, а затем скапливалась опять на катоде, при этом наблюдалось понижение электросопротивления в месте разжижения загрязнителя и распространения растворителя;

- в грунте происходит поступательное перемещение влаги от катода к аноду в первом периоде обработки без растворителя, что приводит к уменьшению УЭС на аноде, и увеличению – на катоде вследствие скопления нефтепродукта – диэлектрика, 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;

- снижение УЭС на участке 1/3 расстояния между электродами свидетельствует о том, что около катода формируется зона скопления разжиженного загрязнителя – это подтверждается визуально следами нефтесодержащей жидкости в дренажных отверстиях электрода и частичным ее испарением.

Гидродинамические процессы в приэлектродных областях характеризуются круговыми диаграммами УЭС, приведенными на рис.4 и 5.

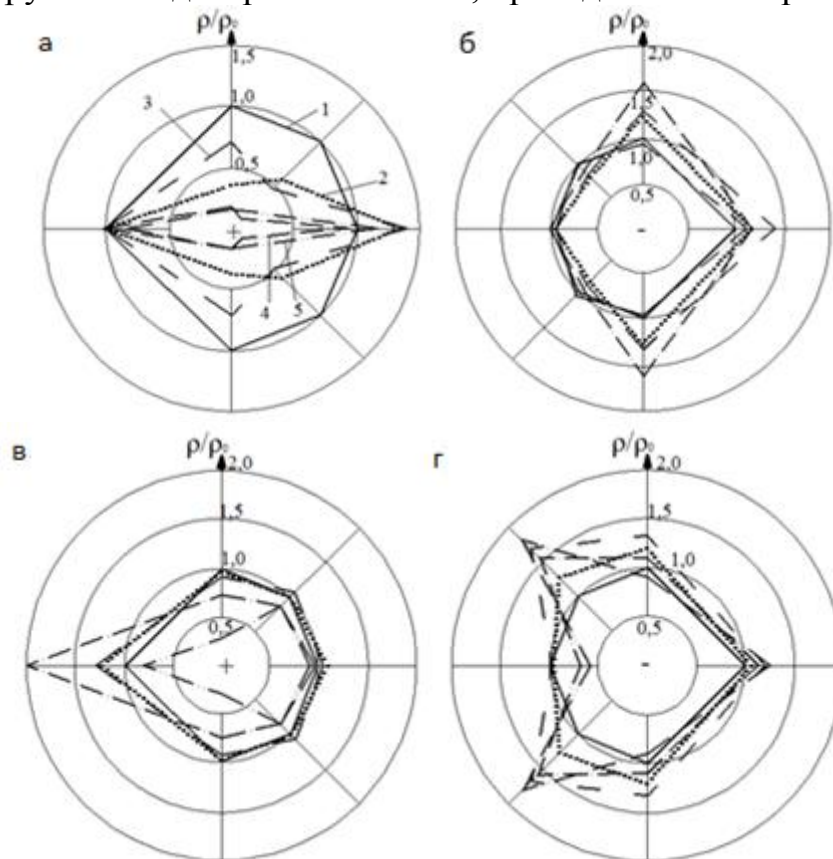


Рис.4. Круговые диаграммы изменения УЭС загрязненного дизельным топливом грунта при электрохимической обработке при $r = 90\text{мм}$ (а, б), $r = 150\text{мм}$ (в, г):
1 – начало обработки; 2 – $I \cdot t = 13,8 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 3 – $31,6 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 4 – $42,8 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 5 – $69,3 \text{ А} \cdot \text{ч}$

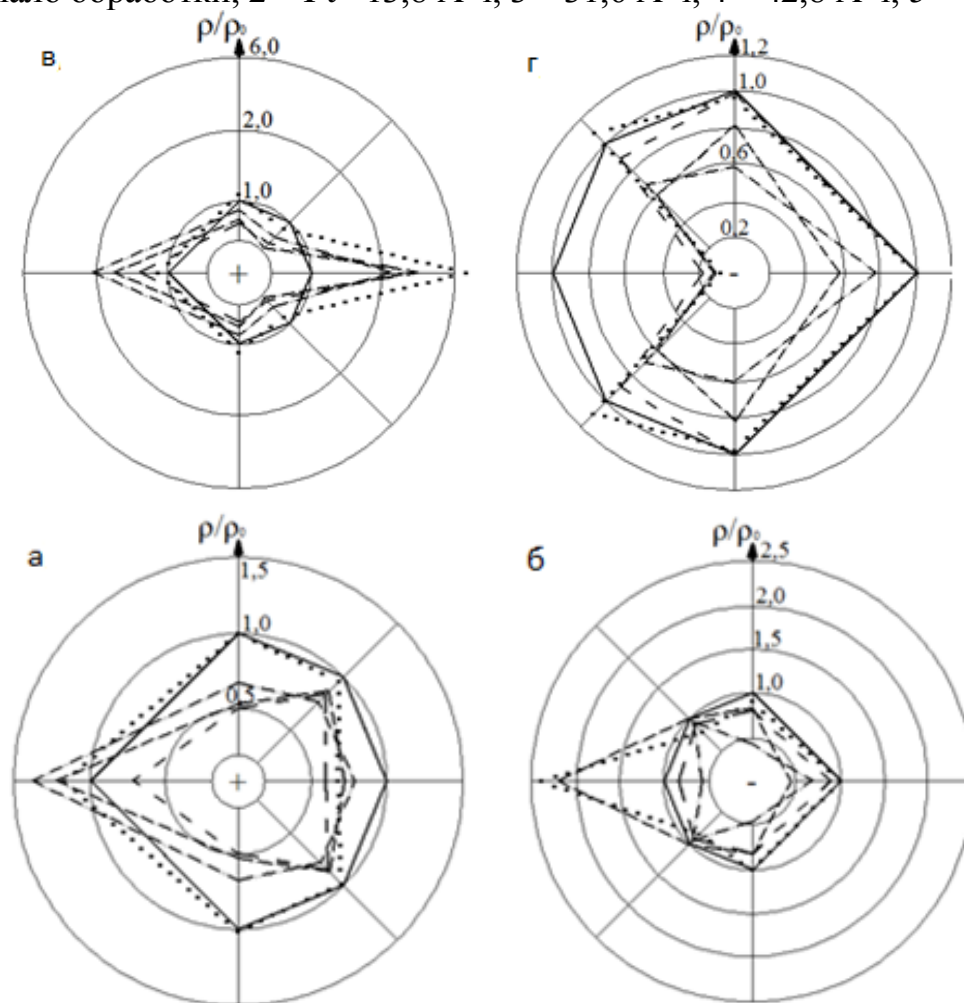


Рис.5. Круговые диаграммы изменения УЭС загрязненного отработанным маслом грунта при электрохимической обработке при $r = 90\text{мм}$ (а, б), $r = 150\text{мм}$ (в, г):
1 – начало обработки; 2 – $I \cdot t = 17,1 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 3 – $42,7 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 4 – $87,1 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 5 – $108 \text{ А} \cdot \text{ч}$

Установлена следующая особенность формирования приэлектродных объемных зон: в грунте наблюдается линейность распространения растворителя от электрода-инъектора при $r = 90\text{мм}$, так как ярко выражена асимметричность прикатодной и прианодной зоны, при $r = 150 \text{ мм}$ диаграмма становится более симметричной, что объясняется более равномерным распространением растворителя в массиве.

Равномерность во времени описанных выше процессов в приэлектродных областях на основной оси обработки характеризуется графиками

зависимостей относительного УЭС ρ/ρ_0 в характерных точках массива от токорасхода $I \cdot t$, приведенными на рис.6.

Из графиков следует, что введение в грунт активного раствора заметно активизирует электроосмотические процессы переноса порозаполняющей жидкости преимущественно в прикатодной области, при этом уменьшение уровня УЭС на 10-20% свидетельствует об относительном повышении в данной зоне содержания естественной поровой влаги.

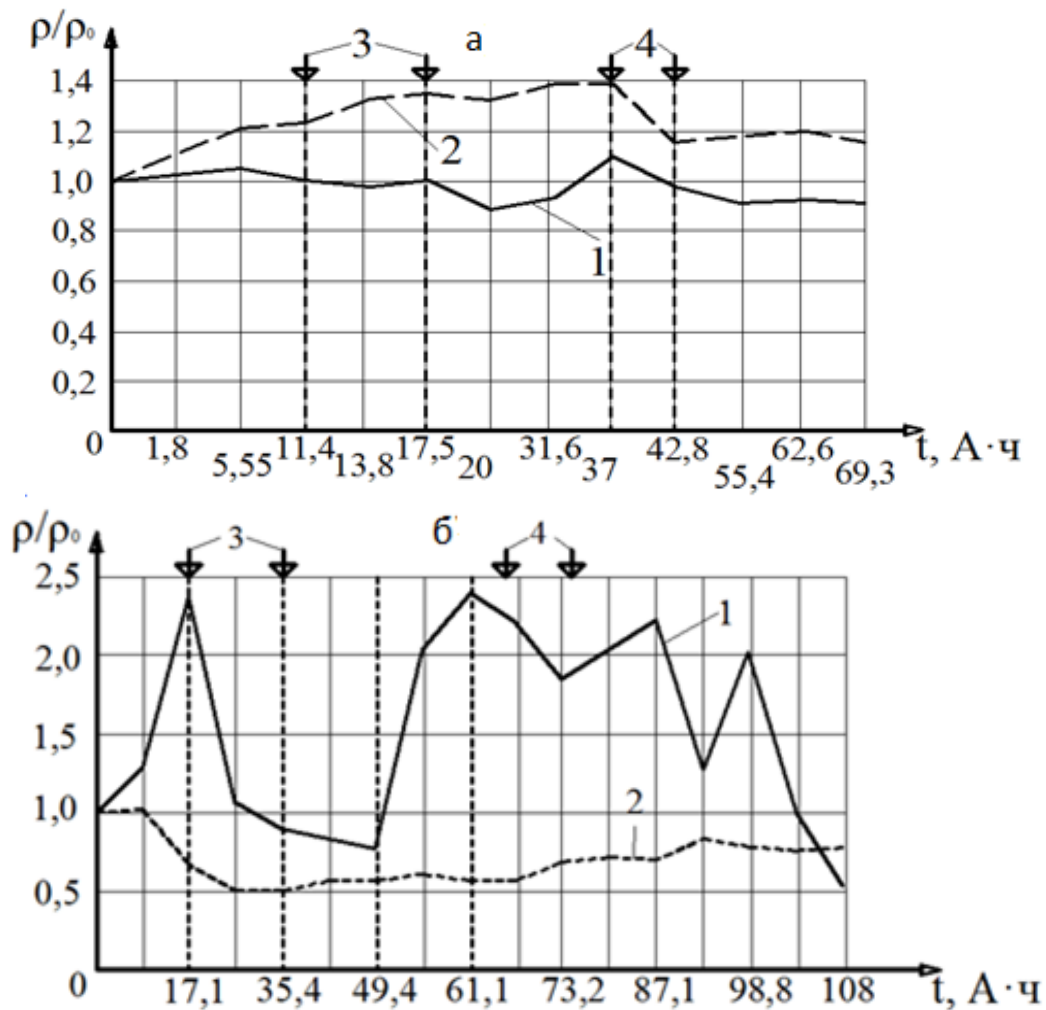


Рис.6. Изменение УЭС загрязненного дизельным топливом (а) и обработанным маслом (б) грунта с очисткой растворителем при электрохимической обработке:

1 – на датчике №1 около отрицательного электрода; 2 – на датчике №8 около положительного электрода; 3 – момент подачи растворителя в положительный электрод; 4 – момент подачи растворителя в отрицательный электрод

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

Из данных табл.1 следует что в обоих грунтах при электрообработке происходит химическое связывание влаги и нефтепродукта, что приводит к общему снижению влажности грунта на 1-5 % и его плотности до 5 %, при этом плотность в сухом состоянии изменяется неоднозначно: при загрязнении дизельным топливом она увеличивается до 6,5 %, а при загрязнении маслом – уменьшается до 4 %.

ТАБЛИЦА 1. Изменение физических параметров грунта в результате электрообработки

Ванна № расположение про- бы	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³
№ 3 на +электроре	35,9/31	2,1/2,15	1,54/1,64
№ 3 в середине	35,9/29,3	2,1/2,08	1,54/1,61
№ 3 на - электроре	35,9/30,9	2,1/2,12	1,54/1,62
№ 4 на +электроре	31,6/30,7	2,14/2,04	1,62/1,56
№ 4 в середине	31,6/30,7	2,14/2,05	1,62/1,57
№ 4 на - электроре	31,6/31,4	2,14/2,12	1,62/1,61

ТАБЛИЦА 2. Изменение гранулометрического состава грунта в результате электрообработки

Ванна № расположение пробы	Содержание фракций (в мм), % (до/после обработ- ки)				
	2	0,5	0,25	0,1	< 0,1
№ 3 на +электроре	6,62/17	36,3/38,7	14,2/12,7	32,7/17,5	10,2/14
№ 3 в середине	6,62/10,2	36,3/42,9	14,2/10,3	32,7/26,3	10,2/10,3
№ 3 на - электроре	6,62/10,3	36,3/45,7	14,2/13,1	32,7/16,4	10,2/14,5
№ 4 на +электроре	17,5/5,55	41,7/37,8	11,6/15,5	15,7/35,4	13,6/5,8
№ 4 в середине	17,5/3,55	41,7/35,8	11,6/15,9	15,7/41,3	13,6/3,4
№ 4 на - электроре	17,5/7,03	41,7/36,5	11,6/13,9	15,7/37,6	13,6/4,9

Весьма существенные изменения установлены в гранулометрическом составе грунта:

- в загрязненном грунте при обработке растворителем наибольшие изменения гранулометрического состава происходят в районе катода, что является следствием скопления вокруг электрода разжиженного загрязнителя;

- на всем протяжении зоны обработки происходит изменение размера частиц, при более вязком загрязнителе (масло, ванна №4) наблюдается преимущественно переход фракции <0,1 мм в диапазон 0,1-0,5 мм вследст-

вие процессов коагуляции масла, слипания мелких частиц, при этом вероятен переход нефтепродукта из жидкого в твердое состояние, которое считается менее токсичным и экологически вредным, при загрязнении менее вязким дизельным топливом более существенно увеличивается содержание фракции $> 0,5$ мм.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

- при пропускании электрического тока и воздействии его на нефтепродукты в порах грунта они переходят в твердое связное состояние, что приводит к увеличению УЭС грунта на всем протяжении зоны обработки;

- в результате электрического воздействия постоянного тока на загрязненный массив происходит образование твердых частиц и слипание этих частиц, что приводит к изменению гранулометрического состава глинистого грунта в сторону увеличения содержания более крупных фракций;

- при обработке грунта электрическим током влажность грунта и его плотность снижаются, при загрязнении дизельным топливом после электрообработки происходит увеличение процентного содержания крупных фракций (больше 0,5 мм), что приводит к увеличению плотности грунта в сухом состоянии; при более вязком загрязнителе (моторное масло) увеличивается содержание фракций в диапазоне (0,1-0,25 мм), а плотность скелета грунта уменьшается;

- процесс фазового преобразования нефтесодержащего продукта в порах грунта, обусловленный электрической и термической коагуляцией, происходит во всем межэлектродном пространстве;

- введение в грунт растворителя способствует образованию вокруг катода зоны разжижения загрязнителя, причём направление электроосмотической фильтрации соответствует преобладанию в растворителе Гексан-н положительно заряженных ионов.

Список литературы

1. Шабанов Е.А. Исследование процессов электроосмотической очистки грунтов от нефтезагрязнений на объемной физической модели / Е.А. Шабанов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов, Кемерово – 2016. – №2 – С. 434-441.

2. **Evgeniy Shabanov, Sergey Prostov.** 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). Volume 92. pp. 175-183