УДК 504.064: 550.837.3: 550.84.02

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА КОНТРОЛИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГРУНТА ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ. Ч.II. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

FIELD TESTS OF CONTROLLED ELECTROCHEMICAL CLEANING OF SOIL FROM OIL POLLUTION. P.II. ELECTRICAL CONTROL

Шабанов Евгений Анатольевич,
аспирант. E-mail: evgenshab@mail.ru
Shabanov Evgeniy A., graduate student
Простов Сергей Михайлович,
доктор техн. наук, профессор. E-mail: psm.kem@mail.ru
Prostov Sergey M., D Sc. (Eng.), professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: *Изложены результаты контроля процессов электрообработки грунтового массива, искусственно насыщенного нефтепродуктами (отработанным маслом, бензином) по изменению электросопротивления грунта с использованием системы микрозондов и схемы вертикального электрического зондирования. Детализированы процессы образования зон осушения, скопления нефтепродуктов при электроосмотическом переносе, изменения структуры грунта в результате коагуляции нефтепродуктов, динамики движения жидкостей в приэлектродных зонах. Доказана эффективность применения электрофизического контроля при исследовании сложных физических процессов и практическом управлением состоянием грунтовых массивов.*

Abstract*: the results of the control processes of electro braid ground mass, artificially saturated with petroleum products (used oil, gasoline) on the change of resistivity of the soil using the system of microsonde and diagrams for vertical electrical sounding. Detailed processes of formation of zones of drying, accumulation of petroleum products in electro osmotic transport, changes in soil structure because of coagulation of oil products, the dynamics of the motion of fluids in near-electrode zones. Proved the effectiveness of the electrophysical monitoring in the study of complex physical processes and practical management of the condition of the soil.*

Ключевые слова: *электросопротивление, микрозонд, зондирование, влажность, нефтепродукт, дезактивация, электроды-инъекторы.*

Keywords*: Resistivity, probe, probing, moisture, oil, decontamination, electrodes-injectors.*

Во время эксперимента, описанного в предыдущей статье, были проведены электрофизические исследования. 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-электродныхдатчиков-зондов с расстоянием между электродами 1 см. Глубину установки датчиков-зондов принимали из возможности максимального погружения их в грунт через отверстия глубиной 700 мм. Общее количество датчиков-зондов – 25 шт, по 5 шт 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. 1 и 2.

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

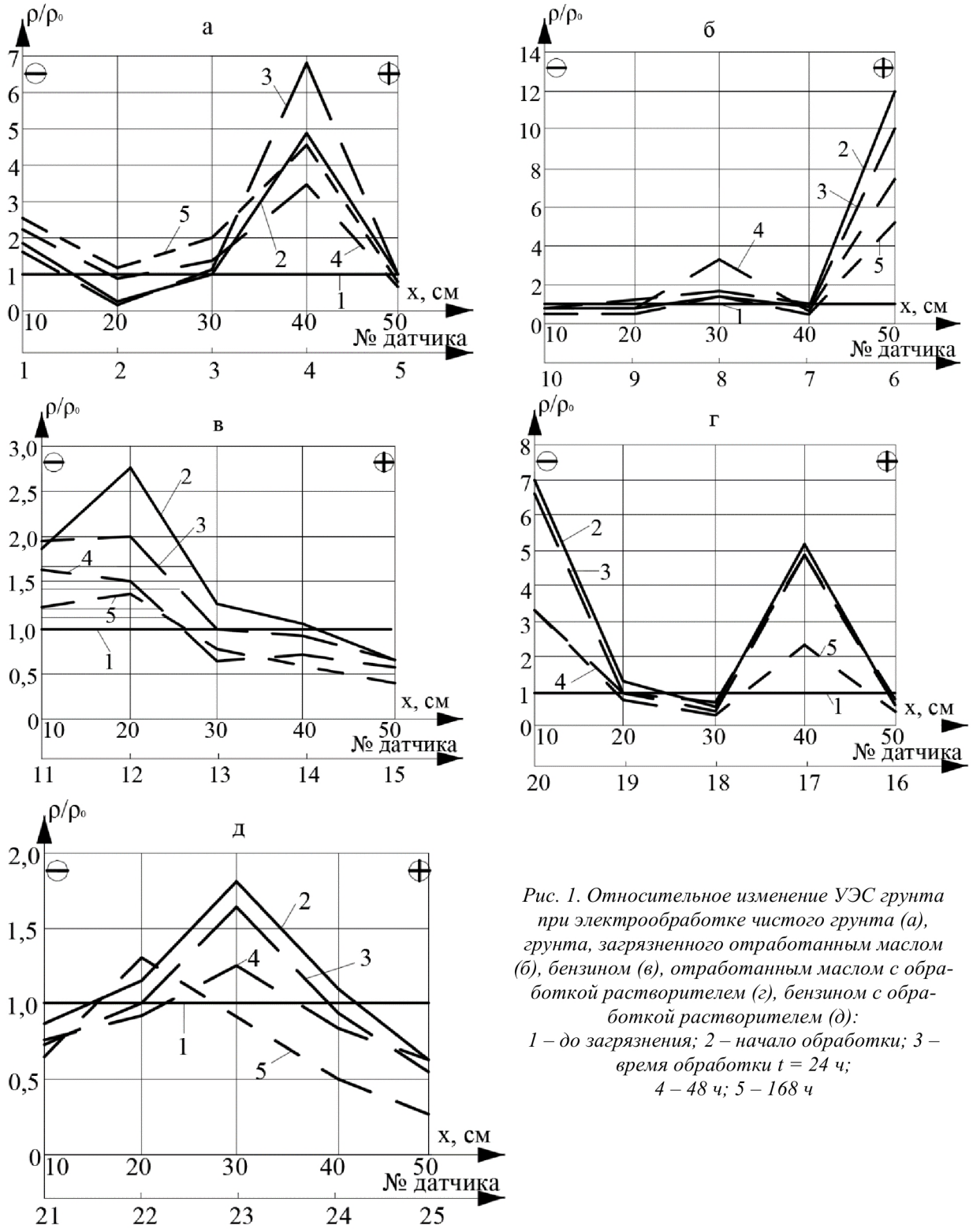
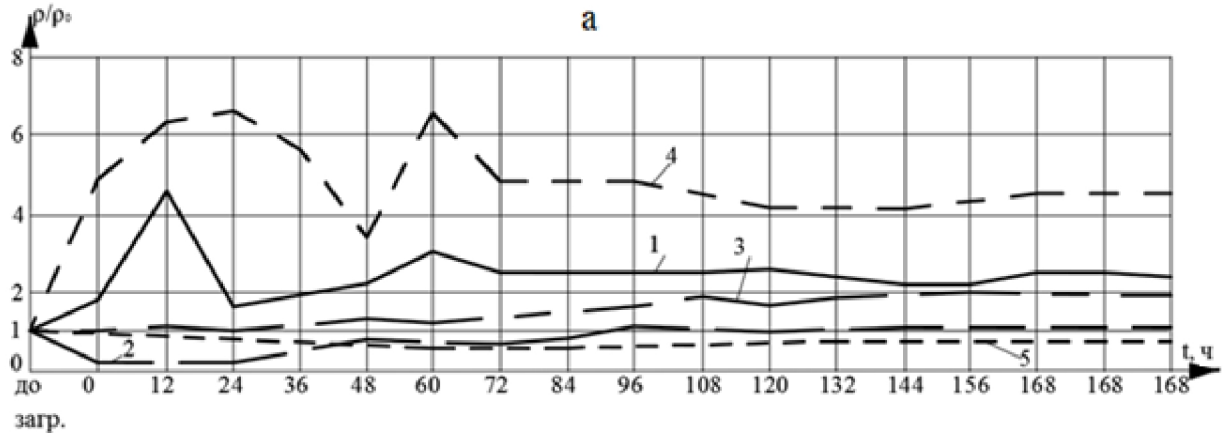
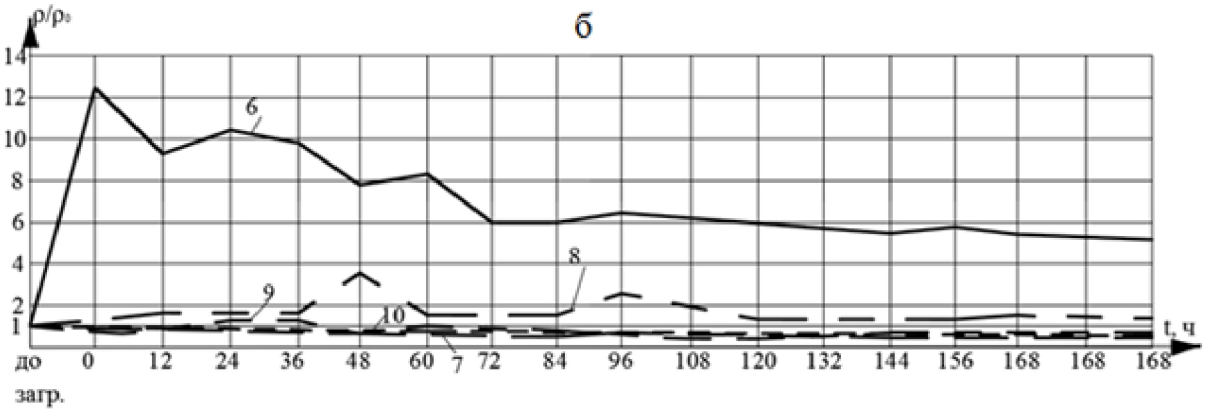
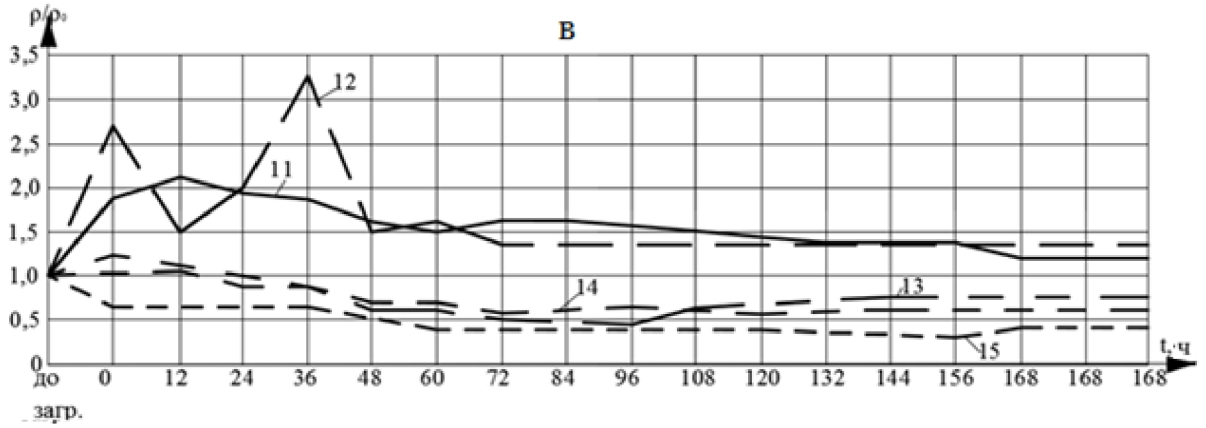
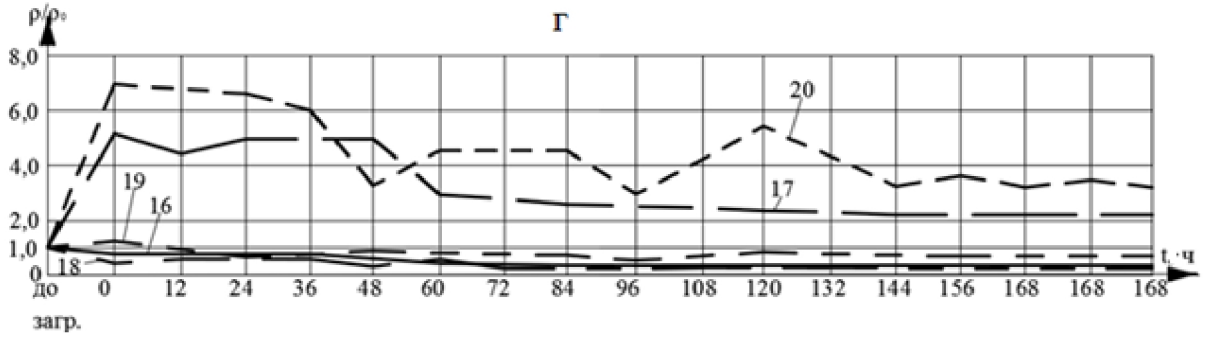


Рис. 1. Относительное изменение УЭС грунта при электрообработке чистого грунта (а), грунта, загрязненного отработанным маслом (б), бензином (в), отработанным маслом с обработкой растворителем (г), бензином с обработкой растворителем (д):
1 – до загрязнения; 2 – начало обработки; 3 – время обработки t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


а
ρ/ρ₀
8
6
4
2
1
0
1
2
3
4
5
t, ч
до 0 12 24 36 48 60 72 84 96 108 120 132 144 156 168 168 168
загр.


б
ρ/ρ₀
14
12
10
8
6
4
2
1
6
7
8
9
10
t, ч
до 0 12 24 36 48 60 72 84 96 108 120 132 144 156 168 168 168
загр.


в
ρ/ρ₀
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
11
12
13
14
15
t, ч
до 0 12 24 36 48 60 72 84 96 108 120 132 144 156 168 168 168
загр.


г
ρ/ρ₀
8,0
6,0
4,0
2,0
1,0
0
16
17
18
19
20
t, ч
до 0 12 24 36 48 60 72 84 96 108 120 132 144 156 168 168 168
загр.

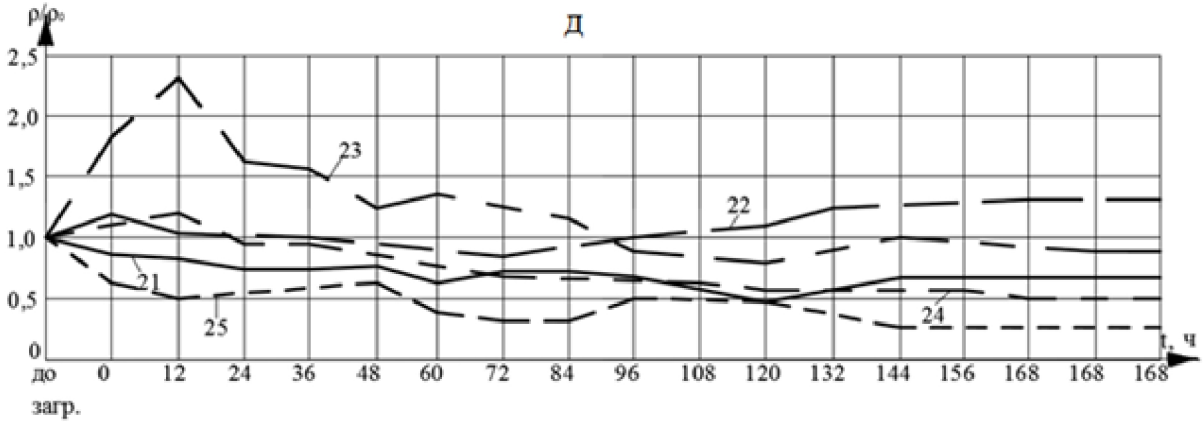


Рис. 2. Относительное изменение УЭС грунта при электрохимической обработке чистого грунта (а), грунта, загрязненного отработанным маслом (б), бензином (в), отработанным маслом с обработкой растворителем (г), бензином с обработкой растворителем (д) в зависимости от токорасхода: 1–25 – номера микродатчиков (см. рис. 1 предыдущей статьи авторов)

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

Основные результаты анализа приведенных графиков сводятся к следующему:

– в незагрязненном грунте (рис.1, *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.1, *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.1, *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.1, *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.1, *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 визуально следами нефтесодержащей жидкости в дренажных отверстиях электрода и частичным ее испарением;

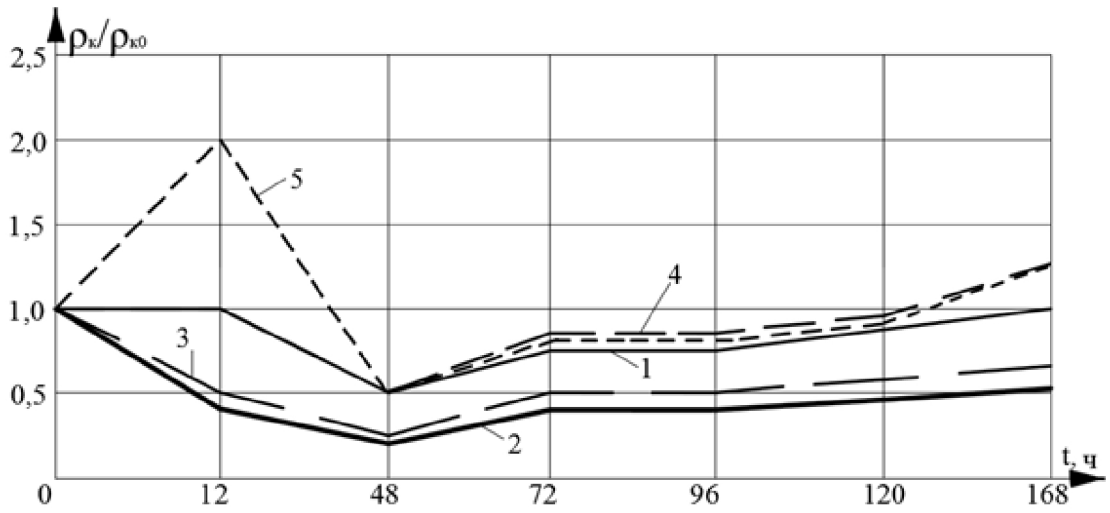


Рис. 3. Изменение эффективного УЭС грунта при электрообработке: 1 – чистая глина; 2 – загрязненный грунт отработанным маслом; 3 – загрязненный грунт бензином; 4 – загрязненный грунт отработанным маслом при электрообработке с растворителем; 5 – загрязненный грунт бензином при электрообработке с растворителем.

– описанные выше процессы происходят монотонно, без резких скачков и экстремальных изменений практически во всех точках геоконтроля (рис. 2).

На рис. 3 приведены результаты электрических зондирований – графики изменения во времени эффективного УЭС $\rho_к$, которые характеризуют интегрально процессы в пределах всей зоны обработки между электродами-инъекторами, используемые в качестве измерительных электродов.

Из приведенных графиков следует, что в процессе обработки при всех видах загрязнения происходит общее снижение уровня УЭС в зоне обработки, которое отражает снижение концентрации нефтяного загрязнителя в поровом пространстве. Используя относительную величину $\rho_к/\rho_{к0}$ в качестве интегральной характеристики процесса дезактивации зоны загрязнения можно количественно оценить изменение коэффициента загрязнения грунта.

Таким образом, геофизический мониторинг является эффективным дополнением инженерно-геологических изысканий при контролируемой электрохимической очистке грунта от нефтезагрязнений

.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевцова, Р. Г. Влияние нефтяных загрязнений на окружающую среду / Р. Г. Шевцова, О. Ю. Резниченко // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды сборник докладов международной научно-технической конференции / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – 2015. – С. 450–454.

2. Махотлова, М. Ш. Влияние нефтяных загрязнений на окружающую среду / М. Ш. Махотлова, З. М. Темботов // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург. – 2016. – №3–2. – С. 10–107.

3. Шувалов, Ю. В. Очистка грунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами / Ю. В. Шувалов, Е. А. Синькова, Д. Н. Кузьмин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №12. – С. 7–10.

4. Каченов, В. И. К вопросу о влиянии нефтяных загрязнений на свойства грунтов / В. И. Каченов, В. В. Середин, С. В. Карманов // Геология и полезные ископаемые западного Урала / Пермский государственный национальный исследовательский университет. – 2011. – №11. – С. 164–165.

5. Королев, В. А. Проблемы очистки геологической среды от загрязнений / В. А. Королев, М. А. Некрасова, [и др.] // Тр. ежегодн. научн. конференции «Ломоносовские чтения». – Москва, МГУ. – 1997. – С. 130–131.

6. Сухоносова, А. Н. Очистка почв от нефтяного загрязнения и оценка ее эффективности / А. Н. Сухоносова, В. А. Бурлака, [и др.] // Экология и промышленность России. – 2009. – №10. – С. 18–20.

7. Арчегова, И. Б. Оптимизация очистки почвы и водных объектов от нефти с помощью биосорбентов / И. Б. Арчегова, Ф. М. Хабибуллина, А. А. Шубаков // Сибирский экологический журнал. – 2012. –

№2 – С. 769–776.

8. Ахметзянова Л. Г. Применение методов статистического анализа для определения безопасного содержания нефтепродуктов в серой почве / Л. Г. Ахметзянова, А. А. Савельев, С. Ю. Селивановская // Сибирский экологический журнал. – 2014. – №6. – С. 777–783.

9. Трусей, И. В. Распределение микроорганизмов в загрязненном нефтепродуктами грунте зон аэрации и насыщения / И. В. Трусей, А. Ю. Озерский, В. П. Лобыгин [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2009. – №1. – С. 29–35.

10. Колесников, С. И. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема / С. И. Колесников, М. Г. Жаркова, [и др.] // Экология. – 2014. – №3. – С. 163–166.

11. Королев, В. А. Методы очистки глинистых грунтов от нефтяных загрязнений / В. А. Королев, К. А. Ситар // Тр. межд. научн. конф. Сергиевские чтения. – Москва, ГЕОС. – 2004. – вып. 6. – С. 267–270.

12. Королев, В. А. Роль электроповерхностных явлений в механизмах вторичной миграции нефти / В. А. Королев, М. А. Некрасова, С. Л. Полищук // Геология нефти и газа. – 1997. – №6. – С. 28–32.

13. Королев, В. А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение. – Москва : ООО «Сам полиграфист», 2015. – 468 с.

14. Шабанов, Е. А. Исследование физических свойств грунтов при электроосмотической обработке / Е. А. Шабанов, С. М. Простов, М. В. Гуцал // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №1 (107). – С. 3–7.

15. Шабанов, Е. А. К вопросу очистки грунтов от экотоксикантов электрохимическим методом / Е. А. Шабанов, С. М. Простов, М. В. Гуцал // Природные ресурсы Сибири и дальнего востока – взгляд в будущее: материалы международного экологического форума. – Кемерово, 2013. – С. 170–176.

16. Шабанов, Е. А. Экспериментальное исследование физических свойств грунтов при электроосмотической очистке от нефтепродуктов / Е. А. Шабанов, С. М. Простов // Горняцкая смена. – 2015: Сборник трудов Всероссийской научной конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы. – Новосибирск, 2015. – С. 155–162.

17. 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.

REFERENCES

1. Shevcova, R. G. Vlijanie neftjanyh zagrjaznenij na okruzhajushhuju sredu /

R. G. Shevcova, O. Ju. Reznichenko // Jenergo- i resursosberegajushhie jekologicheski chistye himiko-tehnologicheskie processy zashhity okruzhajushhej sredy sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii / Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet im. V. G. Shuhova. – 2015. – S. 450–454.

2. Mahotlova, M. Sh. Vlijanie neftjanyh zagrjaznenij na okruzhajushhuju sredu /

M. Sh. Mahotlova, Z. M. Tembotov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – Ekaterin-burg. – 2016. – №3–2. – S. 10–107.

3. Shuvalov, Ju. V. Ochistka gruntov ot zagrjaznenija neft'ju i nefteproduktami / Ju. V. Shuvalov, E. A. Sin'kova, D. N. Kuz'min // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – 2004. – №12. – S. 7–10.

4. Kachenov, V. I. K voprosu o vlijanii neftjanyh zagrjaznenij na svojstva gruntov / V. I. Kachenov, V. V. Seredin, S. V. Karmanov // Geologija i poleznye iskopaemye zapadnogo Urala / Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet. – 2011. – №11. – S. 164–165.

5. Korolev, V. A. Problemy ochistki geologicheskoj sredy ot zagrjaznenij /

V. A. Korolev, M. A. Nekrasova, [i dr.] // Tr. ezhegodn. nauchn. konferencii «Lomonosovskie chtenija». – Moskva, MGU. – 1997. – S. 130–131.

6. Suhonosova, A. N. Ochistka pochv ot neftjanogo zagrjaznenija i ocenka ee jeffektivnosti / A. N. Suhonosova, V. A. Burlaka, [i dr.] // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2009. – №10. – S. 18–20.

7. Archegova, I. B. Optimizacija ochistki pochvy i vodnyh ob#ektov ot nefti s pomoshh'ju biosorbentov / I. B. Archegova, F. M. Habibullina, A. A. Shubakov // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. – 2012. – №2 – S. 769–776.

8. Ahmetzjanova L. G. Primenenie metodov statisticheskogo analiza dlja opredelenija bezopasnogo soderzhanija nefteproduktov v seroj pochve / L. G. Ahmetzjanova,

A. A. Savel'ev, S. Ju. Selivanovskaja // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. – 2014. – №6. – S. 777–783.

9. Trusej, I. V. Raspredelenie mikroorganizmov v zagrjaznennom nefteproduktami grunte zon ajeracii i nasyshhenija / I. V. Trusej, A. Ju. Ozerskij, V. P. Lobygin [i dr.] // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. – 2009. – №1. – S. 29–35.

10. Kolesnikov, S. I. Ocenka jekotoksichnosti tjazhelyh metallov i nefti po biologicheskim pokazateljam chernozema / S. I. Kolesnikov, M. G. Zharkova, [i dr.] // Jekologija. – 2014. – №3. – S. 163–166.

11. Korolev, V. A. Metody ochistki glinistyh gruntov ot neftjanyh zagrjaznenij / V. A. Korolev, K. A. Sitar // Tr. mezhd. nauchn. konf. Sergievskie chtenija. – Moskva, GEOS. – 2004. – vyp. 6. – S. 267–270.

12. Korolev, V. A. Rol' jelektropoverhnostnyh javlenij v mehanizmah vtorichnoj migracii nefti / V. A. Korolev, M. A. Nekrasova, S. L. Polishhuk // Geologija nefti i gaza. – 1997. – №6. – S. 28–32.

13. Korolev, V. A. Teorija jelektropoverhnostnyh javlenij v gruntah i ih primenenie. – Moskva : OOO «Sam poligrafist», 2015. – 468 s.

14. Shabanov, E. A. Issledovanie fizicheskih svojstv gruntov pri jelektroosmoticheskoj ob-rabotke / E. A. Shabanov, S. M. Prostov, M. V. Gucal // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2015. – №1 (107). – S. 3–7.

15. Shabanov, E. A. K voprosu ochistki gruntov ot jekotoksikantov jelektrohimicheskim metodom / E. A. Shabanov, S. M. Prostov, M. V. Gucal // Prirodnye resursy Sibiri i dal'nego vostoka – vzgljad v budushhee: materialy mezhdunarodnogo jekologicheskogo foruma. – Kemerovo, 2013. – S. 170–176.

16. Shabanov, E. A. Jeksperimental'noe issledovanie fizicheskih svojstv gruntov pri jelektroosmoticheskoj ochistke ot nefteproduktov / E. A. Shabanov, S. M. Prostov // Gornjackaja smena. – 2015: Sbornik trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii dlja studentov, aspirantov i molodyh uchenyh s jelementami nauchnoj shkoly. – Novosibirsk, 2015. – S. 155–162.

17. 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.

Поступило в редакцию 22.11.2016
Received 22 November 2016