

УДК 504.064:622.02

БУШУЕВ А. А., аспирант гр. СМа-241 (КузГТУ)
Научный руководитель ПРОСТОВ С. М., д. т. н., профессор (КузГТУ)
г. Кемерово

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Введение. Проблема загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами сохраняет высокую актуальность для Российской Федерации, что обусловлено как масштабами нефтедобычи и транспортировки углеводородного сырья, так и сложностью ликвидаций последствий в аварийных ситуациях [1].

Загрязнение окружающей среды экотоксикантами оказывает многоплановое негативное воздействие на флору и фауну. Нефтепродукты, аккумулируясь в почве и воде, оказывают негативное влияние на рост и развитие растений, снижают видовое разнообразие почвенной биоты и ведут к деградации ореолов обитания животных [2].

Выбросы предприятий нефтеперерабатывающего комплекса содержат сложную смесь загрязнителей (летучие органические соединения, полициклические ароматические углеводороды, тяжелые металлы), которые напрямую связаны с широким спектром респираторных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний у человека [3-4].

Нефтезагрязнения вызывают изменение физико-механических и физико-химических характеристик грунтов [5].

В связи с возрастающей техногенной нагрузкой на природную среду актуальным является вопрос мониторинга степени загрязнения грунтов нефтью и нефтепродуктами. Определение типа, концентрации и путей миграции экотоксикантов в массиве грунта осуществляется с помощью геологических, биологических, химических и геофизических методов, успешно применяемых в работах российских и зарубежных ученых.

В работе [6] для оценки токсичности нефтезагрязненных почв применялся метод биотестирования на зеленой водоросли хлорелла и рачках *Daphnia magna* Straus. Суть метода заключалась в сопоставлении реакций организмов в исследуемой среде: у водорослей фиксировалось подавление или активизация роста популяции, у рачков – процент гибели особей по сравнению с выживаемостью в чистой пробе.

В исследованиях, проведенных во Всероссийском научно-исследовательском институте агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, для определения содержания нефтепродуктов в почвах применялись БИК-анализаторы. Авторами установлено, что минералогический состав грунта не оказывает значимого влияния на точность измерений. Существенными факторами выступают тип почвы, уро-

вень влажности, содержание гумуса и способ измельчения образцов, что обуславливает необходимость включения соответствующих проб в калибровочный массив при проведении лабораторных испытаний [7-8].

Несмотря на эффективность рассмотренных методов, их применение сопряжено с рядом ограничений: необходимость использования дорогостоящего оборудования, привлечение высококвалифицированного персонала, значительные временные затраты на выполнение лабораторных и полевых измерений, необходимость в калибровке.

Альтернативой, позволяющей осуществлять оперативный контроль состояния грунтов, может служить электрофизический метод, разработка которого ведется в Кузбасском государственном техническом университете в течение последних лет [9-11].

Цель работы заключается в установлении закономерностей влияния циклов замораживания-оттаивания и степени влагонасыщения на электрофизические характеристики нефтезагрязненных песчано-глинистых и гравелистых грунтов.

Методы исследования. Полевые исследования продолжительностью один календарный год проводились на 16 участках с различными типами грунтов: без загрязнения (щебенистые, песчано-гравийные, песчаные, влагонасыщенные суглинки) и загрязненные нефтепродуктами (песчано-гравийные в естественном и влагонасыщенном состоянии). Удельное электросопротивление (УЭС) измерялось 4-электродными зондами, подключенными к прибору «Электротест-2Pm/bt» с автокомпенсацией поляризации, температура грунтового массива регистрировалась системой на базе *Arduino Uno R3*.

Лабораторные опыты проводились в 5-литровых емкостях на образцах песка, супеси, суглинка, глины, песчано-гравийной смеси и техногенного грунта с контролируемым увлажнением. Загрязнение моделировали внесением дизельного топлива (ДТ-Л-К5, сорт С), УЭС фиксировали 5-тью микродатчиками.

Результаты исследования. На рис. 1-3 установлена зависимость УЭС от температуры и влажности для грунтов различного гранулометрического состава и концентрации нефтепродуктов.

Для незагрязненных грунтов с включением щебня и гравия зафиксирован резкий рост УЭС с $\rho = 20-60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ до $\rho = 100-160 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (рис. 1), что объясняется замерзанием поровой влаги.

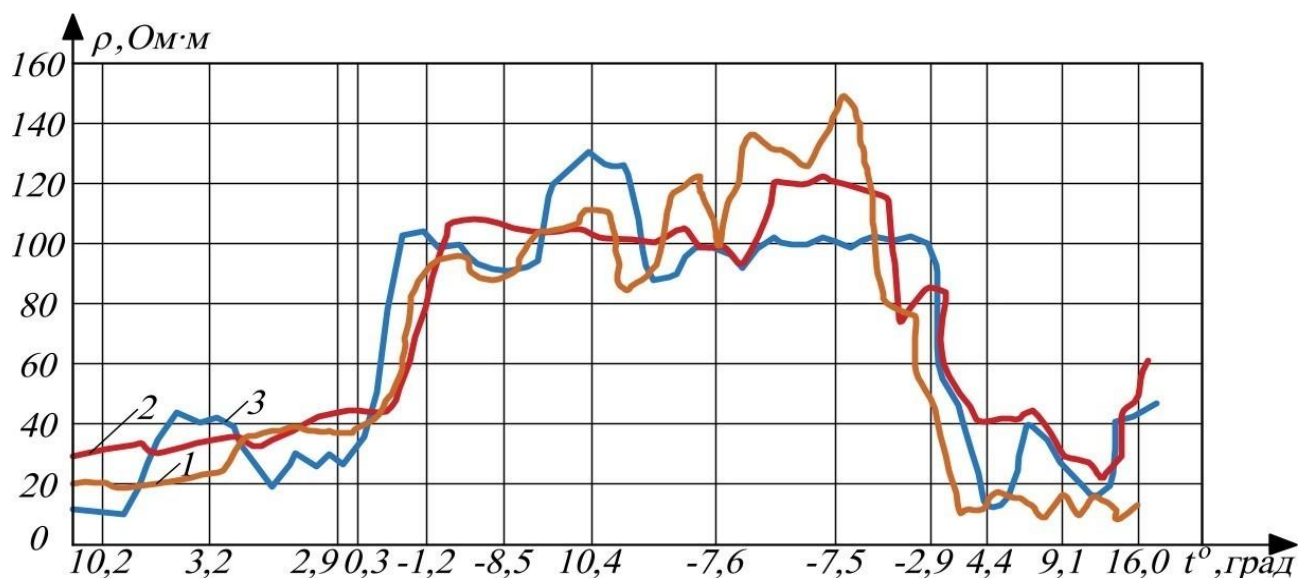


Рисунок 1. Результаты измерений в грунтах без искусственного загрязнения:

1 – техногенный грунт – щебень с примесью песка и ила; 2, 3 – песчано-гравийный грунт

При промерзании песчаных нефтезагрязненных грунтов УЭС скачкообразно возрастает от $\rho = 60-120$ до $\rho = 200-250$ Ом·м. Следует отметить, что повышение содержания глинистых частиц приводит к сглаживанию этого скачка и более плавному изменению УЭС (рис. 2, график 2, супесь).



Рисунок 2. Результаты измерений в песчано-глинистых грунтах без искусственного загрязнения:

1 – песок; 2 – супесь

Совершенно другая динамика УЭС наблюдается в суглинистых грунтах с примесью ила (рис. 3). Для чистых влагонасыщенных образцов характерны диапазоны $\rho = 50-100$ Ом·м («плюсовые» температуры) и $\rho = 400-700$ Ом·м (отрицательные температуры). Загрязнение нефтепродуктом смещает данные интервалы до $\rho = 200-400$ Ом·м и $\rho = 500-1400$ Ом·м соответственно, обеспечивая дополнительный прирост УЭС $\Delta\rho$ до 600 Ом·м.

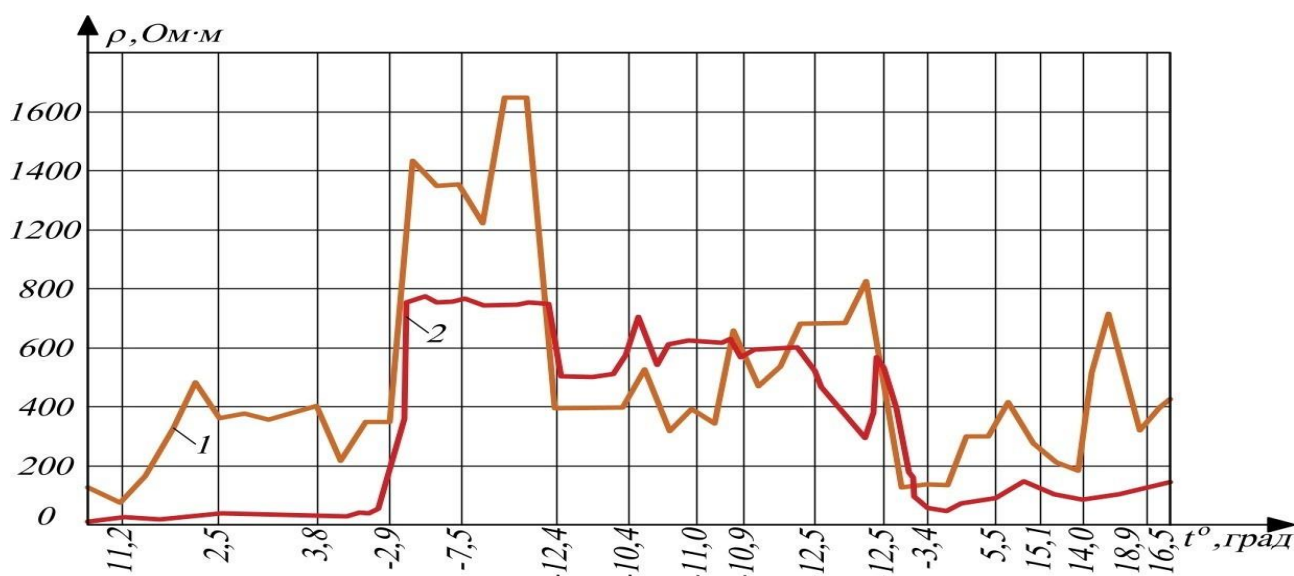


Рисунок 3. Результаты измерений в суглинистых грунтах:

1 – суглинок с примесью ила с искусственным загрязнителем; 2 – суглинок с примесью ила влагонасыщенный без искусственного загрязнения

Зафиксирован монотонный рост УЭС по мере увеличения концентрации загрязнителя во всех исследуемых типах грунтов. При максимальном уровне загрязнения диапазоны УЭС составили: для глинистых разностей (глина, суглинок, супесь) – 1000-2000 Ом·м, для песчаных, гравелистых и техногенных грунтов – 400-500 Ом·м. Установлено, что увеличение влажности образцов приводит к закономерному снижению УЭС в 1,5-5 раз.

Выводы.

1. Промерзание грунтов при отрицательных температурах приводит к росту УЭС до величин, сопоставимых с зонами нефтяного загрязнения (свыше 800 Ом·м), что существенно ограничивает применимость электрофизического метода для локализации загрязненных участков в зимний период. Следует отметить, что промерзший грунтовый массив обладает низкой проницаемостью для жидких нефтепродуктов, поэтому заметное загрязнение грунтов в данных условиях физически невозможно.

2. Для глинистых грунтов (глина, суглинок, супесь) характерен монотонный рост УЭС до 1000-2000 Ом·м при концентрации загрязнителя, равной 10%. В песчаных, гравелистых и техногенных грунтах УЭС не превышает 400-500 Ом·м. Влагонасыщение вызывает закономерное снижение УЭС: для первой группы грунтов – в 1,5-2 раза, для второй – в 3-5 раз.

Список литературы:

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году». – М.: Минприроды России, 2025. – 721 с. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/ (дата обращения: 23.02.2026).
2. Barlow S. E., O'Neill M. A. Technological advances in field studies of pollinator ecology and the future of e-ecology // Current Opinion in Insect Science. 2020. Vol. 38. P. 15-25. DOI: 10.1016/j.cois.2020.01.00.

3. Tavella R. A., da Silva Júnior F. M. R., Santos M. A., Miraglia S. G. E. K., Pereira Filho R. D. A Review of Air Pollution from Petroleum Refining and Petrochemical Industrial Complexes: Sources, Key Pollutants, Health Impacts, and Challenges // *ChemEngineering*. 2025. Vol. 9. № 13. P. 1-30. DOI: 10.3390/chemengineering9010013.
4. Son E., Kwon K. H. The Invisible Threat to Hair and Scalp from Air Pollution // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2025. Vol. 34. № 2. P. 1745-1753. DOI: 10.15244/pjoes/188036.
5. Королев В. А. Очистка грунтов от загрязнений / Королев В. А.; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Геол. фак. – Москва: Наука / Интерпериодика, 2001. – 364 с.
6. Васильев. А. В., Быков Д. Е., Пименов А. А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефтесодержащими отходами / Васильев. А. В., Быков Д. Е., Пименов А. А. // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* – 2015. – Т.17. – № 4. – С. 269-272.
7. Панкратова К. Г., Щелоков В. И., Ступакова Г. А., Игнатьева Е. Э. Метод измерения загрязнения почв нефтепродуктами. / Панкратова К. Г., Щелоков В. И., Ступакова Г. А., Игнатьева Е. Э. // *Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Том II: Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах.* – 2018. – Т.2. – С. 212-215.
8. Pankratova, K. G., Shchelokov, V. I., Stupakova, G. A., Sychev, V.G. 2016. Study of the Suitability of NIR Spectroscopy for Monitoring the Contamination of Soils with Oil Products. In: Mueller, L., Sheudshen, A. K., Eulenstein, F. (eds) *Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia*. Springer Water. p. 327-343.
9. Prostov S., Shabanov E. Substantiation of the Method of Operational Monitoring of Soil Contamination and Oil Decontamination Processes. *E3S Web of Conferences*. 4th International Innovative Mining Symposium. 2019. 02013.
10. Простов С. М., Шабанов Е. А., Бушуев А. А. Моделирование физических процессов при электрообработке грунтов, загрязненных электрически контрастными токсикантами // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2025. № 6 (172). С. 65-74. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-65-74, EDN: HOMXCZ.
11. Бушуев А. А., Шабанов Е. А., Простов С. М. Инженерно-геологические и геофизические изыскания на участке загрязнения нефтепродуктами грунтов речного порта // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2025. № 6. С. 79–89. DOI: 10.21440/0536-1028-2025-6-79-89.