



УДК 504.062

## ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТХОДОВ – НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ



## THE ELECTRODE MATERIAL EFFECT ON THE EFFICIENCY OF ELECTROCHEMICAL WASTE – OIL-CONTAMINATED SOILS TREATMENT

### Пряничникова Валерия Валерьевна

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «ОХТ»,  
Уфимский государственный нефтяной университет  
prvaleria@mail.ru

### Шулаев Николай Сергеевич

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «ИМФ»,  
Уфимский государственный нефтяной университет  
nshulayev@rambler.ru

### Кадыров Рамиль Римович

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «АТИС»,  
Уфимский государственный нефтяной университет  
r\_kadyrov@mail.ru

### Быковский Николай Алексеевич

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «АТИС»,  
Уфимский государственный нефтяной университет  
nbikovsky@list.ru

### Даминева Раиса Мухаметовна

кандидат гуманитарных наук, доцент,  
заведующий кафедрой «ГН»,  
Уфимский государственный нефтяной университет  
daminevarm@mail.ru

### Овсянникова Инна Вячеславовна

ассистент кафедры «ОХТ»,  
Уфимский государственный нефтяной университет  
inna.ovsyannikova.80@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена изучению эффективности и энергозатратности процесса электрохимической очистки отходов нефтедобычи – нефтезагрязненного грунта в зависимости от материала, из которого изготовлены электроды. Представлены результаты лабораторных экспериментов и проведен их анализ.

**Ключевые слова:** электрохимическая очистка, анод, катод, графит, сталь, рутений, напряжение, эффективность очистки.

### Pryanichnikova Valeria Valeryevna

Ph. D. of Technical Sciences,  
Associate Professor of  
the Department of «GChS»,  
Ufa State Petroleum Technical University  
prvaleria@mail.ru

### Shulaev Nikolay Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department «IMF»,  
Ufa State Petroleum Technical University  
nshulayev@rambler.ru

### Kadyrov Ramil Rimovich

Ph. D. of Technical Sciences,  
Associate Professor of  
the Department «ATIS»,  
Ufa State Petroleum Technical University  
r\_kadyrov@mail.ru

### Bykovsky Nikolay Alekseevich

Ph. D. of Technical Sciences,  
Associate Professor of  
the Department «ATIS»,  
Ufa State Petroleum Technical University  
nbikovsky@list.ru

### Damineva Raisa Mukhametovna

Ph. D. of Humanities Sciences,  
Head of the Department «HS»,  
Ufa State Petroleum Technical University  
daminevarm@mail.ru

### Ovsyannikova Inna Vyacheslavovna

assistant of the department «GChS»,  
Ufa State Petroleum Technical University  
inna.ovsyannikova.80@mail.ru

**Annotation.** This article is devoted to the study of the efficiency and energy consumption of the process of electrochemical treatment of oil production waste – oil-contaminated soil, depending on the material from which the electrodes were made. The results of laboratory experiments are presented and their analysis is carried out.

**Keywords:** electrochemical cleaning, anode, cathode, graphite, steel, ruthenium, voltage, cleaning efficiency.

О существовании нефтедобычи неизбежно приводит к образованию нефтесодержащих отходов, очень разнообразных по своему составу, свойствам и агрегатному состоянию. Как правило, такие отходы не в полном объеме подвергаются переработке или утилизации, попадая в естественные водные и почвенные объекты и нанося им значительный экологический ущерб. В зависимости от компонентного состава такие отходы, как нефтезагрязненные почвы чаще всего относятся ко II-IV классу опасности и требуют особого подхода при обращении с ними. Одним из перспективных направлений переработки подобных отходов является применение технологии электрохимической обработки, заключающаяся в пропускании постоянного электрического тока через загрязненную среду.



Постоянное электрическое поле, приложенное к водонасыщенному грунту, вызывает протекание электрохимических и электрокинетических процессов, связанных с разделением, миграцией загрязняющих компонентов между электродами, их трансформацией. Главная цель оптимального подбора условий протекания такого комплекса процессов – это снижение токсичности среды [1, с. 104].

Были проведены лабораторные исследования по изучению эффективности электрохимической очистки нефтезагрязненных почв при использовании электродных пар, изготовленных из различных материалов. Для анализов готовился модельный отход – грунт на основе чернозема, загрязненный нефтью и пластовыми водами нефтяного месторождения. Первоначально проводилось воздействие постоянного электрического тока на загрязненный грунт при использовании различных электродных пар, изучение вольт-амперных характеристик, а затем определение остаточного количества нефтепродуктов, расчет эффективности очистки и удельных энергозатрат на удаление нефтепродуктов.

Для проведения переработки в электрохимическую ячейку помещали навеску отхода, в которую погружались пластинчатые электроды – катод и анод. Навеска отхода (загрязненного грунта) составляла 136,1 г. Электроды были изготовлены в виде пластин с шириной равной 47 мм и высотой – 98 мм. Расстояние между электродами составляло 65 мм. Для экспериментов использовались три электродные пары: графит-сталь, графит-графит и графит-рутений (во всех случаях графит выступал в качестве анода). Проводилось две серии экспериментов: при напряжении 3,4 В и 6 В в течение 120 минут по три серии при идентичных параметрах. Содержание нефтепродуктов определялось ИК- спектрометрией.

На начальной стадии процесса при напряжении 3,4 В (рис. 1) произошло снижение силы тока, что обусловлено активной диссоциацией солей в составе высокоминерализованных пластовых вод. В некоторых случаях может наблюдаться скачек силы тока, что можно объяснить переходом солей, находящихся в сорбированном состоянии в почве, в растворенное состояние, приводящее к увеличению электропроводности среды [2, с. 353]. Из графиков видно, что использование пары «графит-рутений» способствует более интенсивному выделению полярных соединений (легкодиссоциируемых солей) из почвы в поровый раствор, что делает более эффективным процесс обессоливания. При использовании электродных пар «графит-графит» и «графит-сталь» процесс более стабилен.

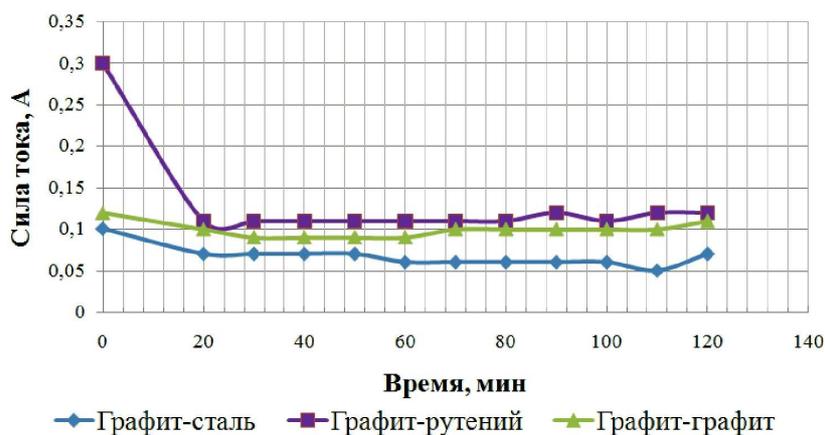


Рисунок 1 – Динамика силы тока во времени при напряжении 3,4 В

При относительно низком напряжении наибольшей эффективностью обладает электродная пара «графит-рутений», позволяющая достичь эффективности очистки грунта 91,4 %.

Энергетические затраты составили: для электродов «графит-сталь» – 28,33 кВт ч, «графит-графит» – 44,83 кВт ч, «графит-рутений» – 152,5 кВт ч. на килограмм нефтепродуктов.

Во втором случае (при напряжении 6 В) на обработку отхода затрачивалось больше энергии, а эффективность очистки возрастала лишь незначительно (примерно на 2 % при росте энергозатрат в 2 и более раз). При более высоком напряжении (6 В) часть энергии расходуется на разогрев почвы и испарительные процессы, что способствует удалению преимущественно легких фракций нефти.

Расчет энергозатрат на реализацию процесса очистки нефтезагрязненной почвы до необходимого уровня для каждого вида электродных пар, показал, что наибольшей эффективностью обладают низковольтные режимы обработки, т.к. снижаются потери энергии на нагрев обрабатываемой среды. Проведенные эксперименты подтверждают рациональность использования электрохимического метода очистки и существование предельного удельного заряда обработки для удаления нефтепродуктов из грунта, позволяющего расходовать электроэнергию в пределах необходимого минимума [3, с. 126].

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24041.**

**Литература:**

1. Влияние электрообработки на химический состав нефтезагрязненных грунтов / В.В. Пряничникова [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2019. – № 6. – С. 101–113.
2. Ferrarese E., Andreottola G. Application of Electrochemical Techniques For The Remediation Of Soils Contaminated With Organic Pollutants // Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy. – 2010. – Vol. 13. – P. 343–372.
3. Особенности электрохимической очистки различных типов почв от нефтепродуктов / В.В. Пряничникова [и др.] // Бутлеровские сообщения. – 2018. – Т. 53. – № 3. – С. 124–129.

**References:**

1. Influence of electric treatment on chemical composition of oil-contaminated soils / V.V. Pryanichnikova [et al.] // Oil and gas business. – 2019. – № 6. – P. 101–113.
2. Ferrarese E., Andreottola G. Application of Electrochemical Techniques For The Remediation Of Soils Contaminated With Organic Pollutants // Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy. – 2010. – Vol. 13. – P. 343–372.
3. The features of the electrochemical cleaning of different types of oil-contaminated soil / V.V. Pryanichnikova [et al.] // Butlerov Communications. – 2018. – V. 53. – № 3. – P. 124–129.