

М. В. ГУЦАЛ, доцент, к.т.н., С. М. ПРОСТОВ, профессор, д.т.н.,  
Е. А. ШАБАНОВ, ст. преподаватель, КузГТУ, г. Кемерово

## **К ВОПРОСУ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОТ ЭКОТОКСИКАНТОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Кемеровская область является наиболее урбанизированной территорией Западной Сибири. Здесь сосредоточено 37% промышленно-производственных фондов, проживает 22% населения, при этом площадь нарушенных земель составляет более 250 тыс. га.

Интенсивное развитие промышленного производства увеличивает антропогенную нагрузку на окружающую среду. По состоянию на 01.07.2013 на территории Кемеровской области действуют более 80 предприятий, из них более 40 предприятий угледобывающего и перерабатывающего профиля, эксплуатирующих объекты размещения отходов различного рода: накопители различного назначения (шламовые, иловые и т.д., более 10), отвалы (отвалы вскрышных пород, гидрозолоотвалы, золоотвалы, шламоотвалы и т.д., более 170), отстойники карьерных и ливневых вод с углехранилищ (более 50). Кроме того, в области действуют более 10 предприятий, эксплуатирующих закрытые радионуклидные источники.

Из загрязнителей грунтов (рис. 1) наибольшее значение имеют следующие: отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти, угля, газа, горючих сланцев и торфа, отходы неорганических кислот, соли азота, нитриты, сульфаты, металлургические шлаки, съемы и пыль, минеральные шламы, соли тяжелых металлов, фенолы, хлорорганика, радионуклиды. В качестве примера можно отметить, что только в угольной золе содержится до 70 различных элементов, в т.ч. высокотоксичных (мышьяк - 200 г/т, уран - 400 г/т, свинец - 200 г/т), а содержание в грунтах таких токсичных веществ, как кадмий (0,3 - 0,88 мг/кг), никель (21,5 - 28,9 мг/кг) и цинк (71,3 - 76,9 мг/кг) превышает ПДК в несколько раз.

В табл. 1 представлен перечень предприятий – основных источников образования отходов по данным Управления Росприроднадзора по Кемеровской области.

Основные методы очистки грунтов от загрязнителей следующие (рис. 2): физические, связанные с выемкой загрязненного грунта и промывкой с растворением загрязнителей в промывающей жидкости; химические, включающие термические способы, технологии выщелачивания, связывания загрязнителей в комплексные соединения и т.д.; физико-химические, в число которых входят экстракция, фотолит и флотация; биохимические, подразумевающие применение бактерий в сочетании с

вентиляцией почвы воздухом или кислородом (биоventилирование), фиторемедиацию, грибковые технологии, использование ила.

Таблица 1

Предприятия – основные источники образования отходов на территории Кемеровской области

№ п/п	Предприятия	Объем образования отходов, млн т/год
1	ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь»	899,315
2	ОАО «Угольная компания «Южный Кузбасс»	177,251
3	ОАО «Разрез «Виноградовский»	146,472
4	ЗАО «Черниговец»	127,652
5	ОАО «Междуречье»	89,109
6	ОАО «СУЭК-Кузбасс»	82,828
7	ООО «Разрез «Киселевский»	62,690
8	ЗАО «Разрез «Распадский»	61,716
9	ООО «Разрез «Южный»	51,142
10	ЗАО «Шахта «Беловская»	45,731
11	ООО «Разрез «Березовский»	44,847
12	ЗАО «САЛЕК»	42,281
13	ООО «Разрез «Бунгурский-Северный»	41,732
14	ООО «Шахта № 12»	39,359
15	ООО СП «Барзасское товарищество»	39,258
16	ОАО «Разрез «Шестаки»	37,037

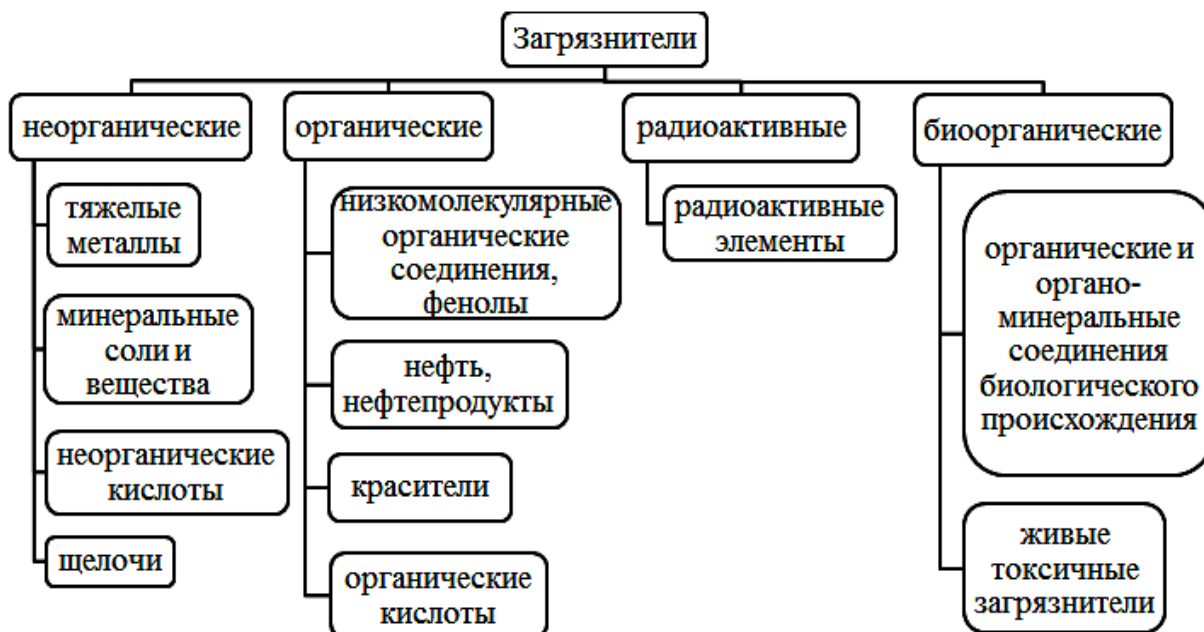


Рис. 1. Классификация загрязнителей

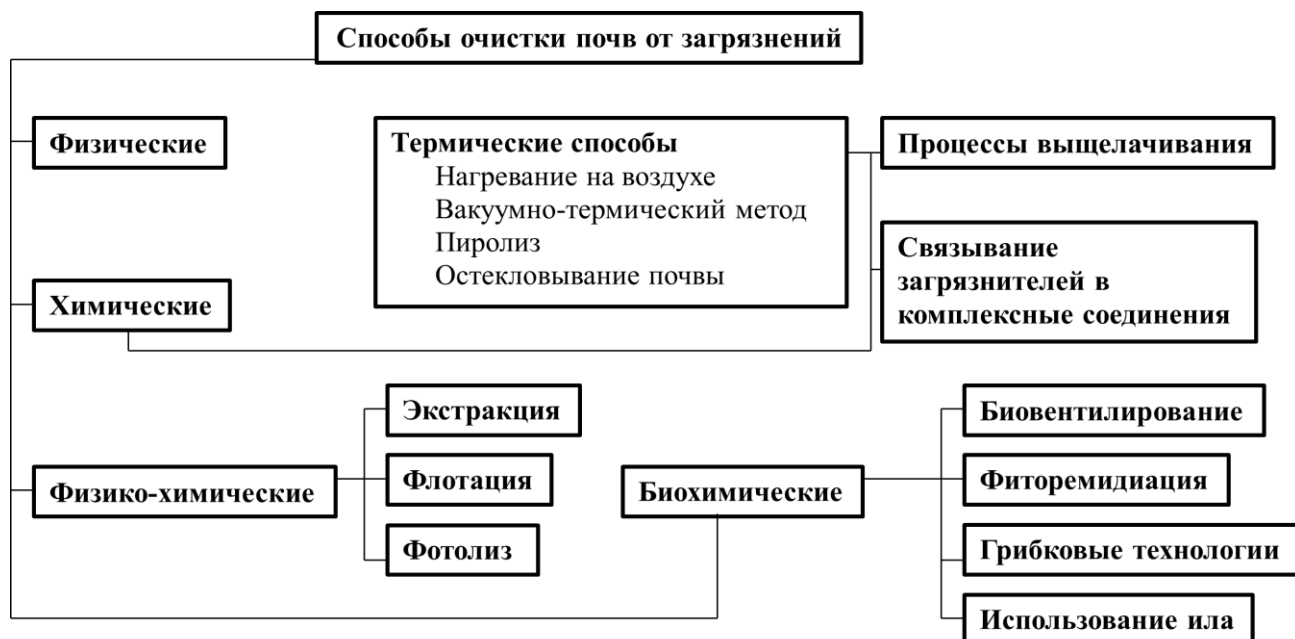


Рис. 2. Классификация методов очистки загрязненных грунтов

В настоящее время среди методов очистки грунтов выделяют методы, основанные на процессе электроосмотического перемещения экотоксиканта, предварительно переведенного в подвижное состояние с помощью реагентов, в поле постоянного электрического тока к одному из электродов. В частности, таким методом является электрохимический метод очистки грунтов. Отличительной особенностью метода является возможность его применения для очистки грунтов с низкой фильтрационной спо-

способностью непосредственно на месте загрязнения, без выемки и перемещения грунта. В процессе очистки загрязнения перемещаются вдоль силовых линий электрического поля, распределение которых определяется расположением электродов, скорость перемещения загрязнителя при этом зависит от напряженности поля, что позволяет контролировать процесс очистки и управлять им. Исходные концентрации экотоксикантов могут быть снижены с 10-50 мг/кг до 1-10 мг/кг, что вполне укладывается в существующие нормы.

Основные параметры электрокинетического процесса:

- напряжение на электродах	4-200 В
- напряженность поля	20-200 В/м
- плотность тока	0.5-5.0 А/м <sup>2</sup>
- расстояние между электродами	2-10 м
- глубина заложения электродов	2-5,0 м
- максимальный объем грунта, реально очищенный электрокинетической технологией на одном месте	Более 5000 м <sup>3</sup>
- эффективность очистки	80-99 %

Электроосмос и электрофорез открыты в 1809 году профессором Московского университета Рейсом. Наибольший вклад в теорию электроосмоса в грунтах в связи с проблемой осушения сделан учеными школы Ломизе Г. М., а также Жинкин Г. Н., Курденков Л. И., Амарян Л. С., Казагранде Л. и другие.

Электроосмотическое течение раствора в единичном капилляре подчиняется уравнению Гельмгольца - Смолуховского, полученному посредством интегрирования функции потенциала двойного электрического слоя, возникающего на границе адсорбирующей поверхности твердой фазы с электролитом [1]:

$$\bar{V} = - \frac{\varepsilon \zeta}{\mu} \text{grad} \varphi, \quad (1)$$

где  $\bar{V}$  - средняя по сечению капилляра скорость течения, м/с;  $\varepsilon$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости раствора, Па·с;  $\zeta$  - электрокинетический потенциал, В;  $\varphi$  - потенциал внешнего электрического поля, В.

На основе анализа размерностей получена зависимость для модуля эффективной скорости  $V_{\text{Э}}$  (расхода):

$$V_{\text{Э}} = C \sigma_0 \frac{m^2 R}{\mu} E = \frac{m \zeta \varepsilon}{\mu} E = K_{\text{Э}} E, \quad (2)$$

где  $C$  - постоянная;  $\sigma_0$  - удельная объемная плотность зарядов ионов диффузного слоя, Кл/м<sup>3</sup>;  $m$  - пористость грунта;  $R$  - гидравлический радиус, пор, м;  $K_{\ominus}$  - коэффициент электроосмотической активности, м<sup>2</sup>/(В·с);  $E$  - напряженность поля, В/м.

В знаменатели приведенных формул следует ввести дополнительно эффективное удельное электросопротивление массива (УЭС)  $\rho$ . Проведенные авторами экспериментально-теоретические исследования показали, что данные зависимости не вполне отражают механизм электрокинетических процессов, поскольку интенсивность электроосмотических и электрофильтрационных процессов определяется не напряженностью поля  $E$ , а плотностью тока [2].

Для того, чтобы использовать электроосмотический процесс в производственных целях, необходим полный анализ основных характеристик, к которым относятся: коэффициент электроосмоса  $K_{\ominus}$ ; коэффициент электроосмотической активности  $K$ ; электропроводность грунта  $\gamma = \frac{1}{\rho}$ ; предельное отрицательное давление  $P_{\text{пр}}$ ; коэффициент фильтрационного эффекта электроосмоса  $\Phi$ , который показывает степень изменения коэффициента фильтрации  $K_{\phi}$  при воздействии током.

Большинство исследователей отмечает, что главное влияние на электроосмос оказывают два параметра:  $K_{\ominus}$  и  $K$ . Первый параметр  $K_{\ominus}$  в различных грунтах изменяется сравнительно незначительно (в пределах 1–15 раз). При этом величина  $K_{\phi}$  меняется у разных грунтов в зависимости от степени дисперсности в значительно больших пределах.

Второй параметр  $K$  является мерой эффективности применения метода электроосмоса. В песчаных грунтах  $K$  имеет небольшое значение, а в глинистых грунтах с высокой дисперсностью  $K$  может достигать больших величин (до 10<sup>5</sup> см/В), что объясняет эффективность электроосмотической фильтрации. На основании многочисленных исследований Курденковым Л. И. [3] дана классификация грунтов по степени электроосмотической активности (табл. 2).

Экспериментальные данные о диапазонах изменения параметров грунтов:  $K_{\ominus}$  и коэффициента фильтрации  $K_{\phi}$  (получены различными отечественными и зарубежными авторами),  $m$  (для условий угольных месторождений Кузбасса [4]) представлены в табл. 3, из которой следует, что величина  $K_{\ominus}$  для всех видов грунтов относительно стабильна, поскольку ее изменение не превышает одного порядка. Вместе с тем, диапазон изменения  $K_{\phi}$  достигает 6 порядков. Поскольку в легко проницаемых породах ( $K_{\phi} > 10^{-8}$ — $10^{-7}$  м/с, супеси, пески, гравелиты) водопонижение или укрепление вполне осуществимо традиционными методами, электроосмотическая обработка целесообразна только при  $K_{\phi} < 10^{-7}$  м/с ( $10^{-2}$  м/сут).

Таблица 2

## Виды грунтов по электроосмотической активности

Наименование грунтов по степени электроосмотической активности	Предельные показатели степени активности		Преобладающие разновидности грунтов
	Удельное электроосмотическое давление, см·В	Коэффициент фильтрации $K_{\phi}$ , см/с	
Высокоактивные	$10^5-10^3$	$10^{-9} - 10^{-7}$	Глины пластичной и текучей консистенции, глинистые илы
Активные	$10^5-25$	$10^{-9} - 4 \cdot 10^{-7}$	Глины пластичной и текучей консистенции, глинистые илы, частично суглинки и суглинистые илы
Среднеактивные	25–2,5	$4 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-5}$	Суглинки и суглинистые илы, отчасти глины пластичной и текучей консистенции, глинистые илы
Слабоактивные	2,5–0,25	$4 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-4}$	Суглинки, супеси, суглинистые и супесчаные илы, частично пылеватые пески
Неактивные	<0,25	$4 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot 10^{-4}$	Скальные и крупнообломочные грунты; гравелистые, крупные, средней крупности и мелкие пески, кроме того, глины и высокопластичные суглинки твердой консистенции

Таблица 3

## Основные параметры грунтов в зонах электроосмотической обработки

Тип грунта	$K_{\Sigma}$ , м <sup>2</sup> /(В·с)	$K_{\phi}$ , м/с	$m$
Супеси	$(3,8-8,5) \cdot 10^{-1}$	$(2,2-3,2) \cdot 10^{-6}$	0,180-0,443
Суглинки	$(0,6-10) \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-10} - 8 \cdot 10^{-7}$	0,195-0,481
Глины	$(1,77-13) \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-11} - 6 \cdot 10^{-10}$	0,187-0,533
Ил	$(0,9-3) \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-12} - 10^{-10}$	-

Другим важным параметром, определяющим эффективность применения электроосмотической обработки грунтов, является УЭС грунтов. Экспериментально установлено, что диапазон оптимальной плотности тока составляет  $j = 6-20$  А/м<sup>2</sup>. При напряжении силового источника питания  $U < 100$  В данный режим обработки соответствует  $\rho < 2-20$  Ом·м [5].

В результате обобщения приведенных данных по очистке глинистых грунтов электрохимическим способом установлено:

- добиться высокой степени очистки без применения химических реагентов или растворов ПАВ невозможно, применение специальных

химических агентов снижает затраты электроэнергии и времени на очистку;

- с ростом напряженности электрического поля и мощности электрообработки увеличивается скорость извлечения загрязнителя и сокращается продолжительность процесса, в основном, за счет повышения температуры грунта;

- величина подводимой электрической мощности ограничена испарением электролитов и поровых растворов, а также температурной устойчивостью конструкционных материалов электродных устройств;

- для контроля процессов водонасыщения зоны обработки, изменения концентрации загрязняющих веществ и управления основными технологическими параметрами целесообразно использование методов электромагнитного зондирования.

#### Список литературы

1. Ломизе, Г. М. Электроосмотическое водопонижение / Г. М. Ломизе, А. В. Нетушил. – М.: Госэнергетическое изд-во. – 1958. – 176 с.

2. Хямяляйнен, В. А. Электрическое поле при фильтрации инъекционного раствора / В. А. Хямяляйнен, С. М. Простов. // ФТПРПИ. – 1995. - №4. – С. 52-56.

3. Курденков, Л. И. Область применения электроосмоса в грунтах / Материалы к VI совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. – М. : Изд-во МГУ, 1968. – С. 209–218.

4. Штумпф, Г. Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна / Г. Г. Штумпф, Ю. А. Рыжков, В. А. Шаламанов, А. И. Петров. – М.: Недра. – 1994. – 447 с.

5. Простов, С. М. Электрохимическое закрепление грунтов / С. М. Простов, А. В. Покатилов, Д. И. Рудковский. – Томск; Изд-во Том. ун-та, 2011. – 294 с.

**УДК: 502.131.1:330.341**

И. Б. ДЕГТЯРЕВА, В.И. ТАРАНОВСКИЙ, А.С. РОМАШКО, СумГУ,  
г. Сумы, Украина

#### **РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ КЛАСТЕРОВ**

Современное региональное развитие требует пересмотра существующих подходов и основ его формирования. Актуальным является вопрос развития территорий на основе экологически ориентированных кластеров.