ЭКОЛОГИЯ ИОХРАНА ТРУДА

УДК 502.55 : 624.130

С.М. Простов

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЧИСТКИ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Интенсивное развитие промышленного производства в Западной Сибири увеличивает антропогенную нагрузку на окружающую среду. На территории Кемеровской области действуют более 80 предприятий, эксплуатирующих объекты размещения отходов различного рода. Более 40 предприятий угледобывающего и перерабатывающего профиля имеют более 10 накопителей различного назначения (шламовые, иловые и т. д.), более 170 отвалов (отвалы вскрышных пород, гидрозолоотвалы, золоотвалы, шламоотвалы и т. д.), более 50 отстойников карьерных и ливневых вод с углехранилищ. Кроме того, в области действуют более 10 предприятий, эксплуатирующих закрытые радионуклидные источники.

Перечень угледобывающих предприятий – источников образования отходов по данным Управления Росприроднадзора по Кемеровской области представлен в табл. 1.

Из загрязнителей грунтов наибольшее значение имеют следующие: отходы нефтепродуктов; отходы 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 (рис. 1). 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) может превышать ПДК в несколько раз.

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 технологии выщелачивания, связывания загрязнителей в комплексные соединения и т. д.; термические, включающие нагревание на воздухе, в вакууме и пиролиз; физико-химические, в число которых входят экстракция, фотолиз и флотация; биохимические, подразумевающие применение бактерий в сочетании с вентиляцией почвы воздухом или кислородом (биовентилирование), фиторемидиацию, грибковые технологии, использование ила [1].

Таблица 1. Угледобывающие предприятия – 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

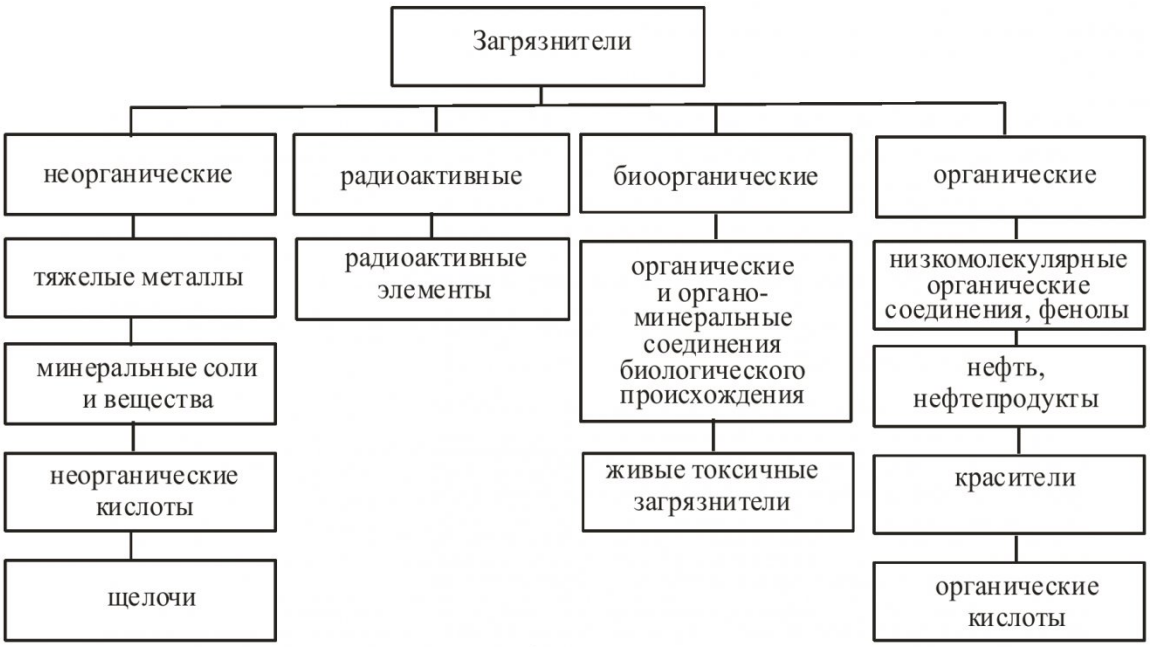

Рис. 1. Классификация загрязнителей

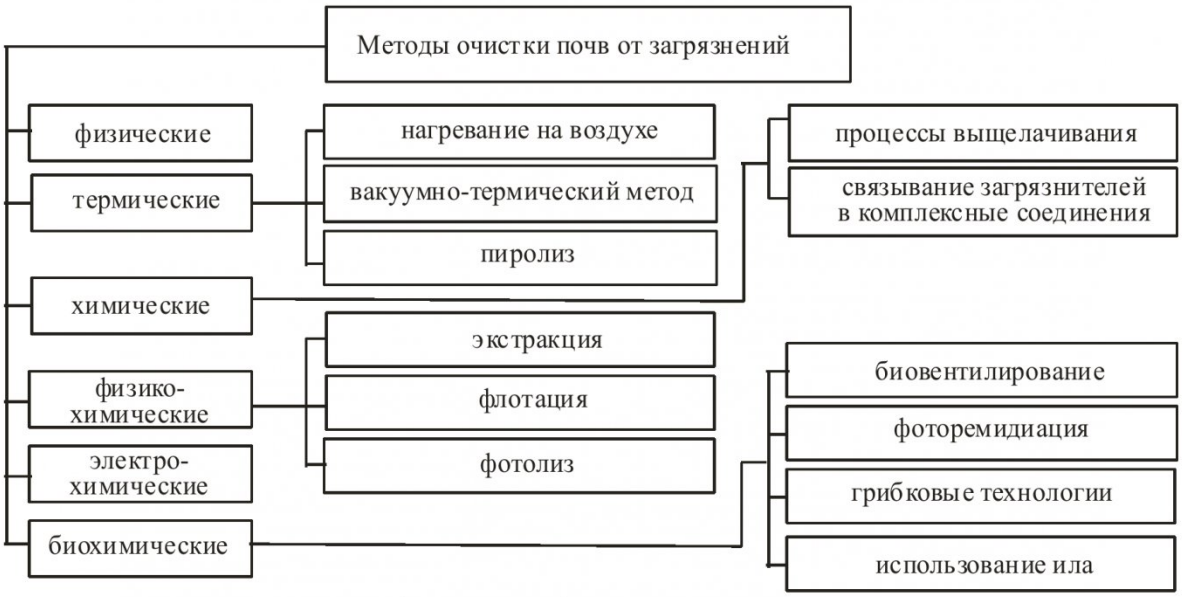

Рис. 2. Классификация методов очистки загрязненных грунтов

Среди способов очистки грунтов весьма перспективными представляются способы, основанные на процессе электроосмотического перемещения экотоксиканта, предварительно переведенного в подвижное состояние с помощью реагентов, в поле постоянного электрического тока к одному из электродов. Отличительной особенностью электрохимического (электроосмотического) способа очистки является возможность его применения для грунтов с низкой фильтрационной способностью непосредственно на месте загрязнения без выемки и перемещения грунта.

В процессе очистки загрязнения перемещаются вдоль силовых линий электрического поля, распределение которых зависит от расположения электродов-инъекторов, 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 процесса электрохимической очистки:

– напряжение на электродах	20–200 В
– напряженность поля	20–200 В/м
– плотность тока	0,5–20 А/м^2
– расстояние между электродами	2–10 м
– глубина заложения электродов	2–5 м
– максимальный объем грунта,	

реально очищенный электрокинетической технологией на одном месте >5000 м^3

– 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 сделали ученые 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 [2]:

$$\overline{V} = -\frac{\varepsilon\varsigma}{\mu} grad\varphi, \qquad (1)$$

где $\overline{V}$ – средняя по сечению капилляра скорость течения, м/с; ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м; μ – коэффициент динамической вязкости раствора, Па·с; ς – электрокинетический потенциал, В; φ – потенциал внешнего электрического поля, В.

На основе анализа размерностей получена зависимость для модуля эффективной скорости (расхода) [4]:

$$V_э = C\sigma_0 \frac{m^2 R}{\mu} E = \frac{m\varsigma\varepsilon}{\mu} E = K_э E, \qquad (2)$$

где C – постоянная; σ_0 – удельная объемная плотность зарядов ионов диффузного слоя, Кл/м^3; m – пористость грунта; R – гидравлический радиус, пор, м; $K_э$ – коэффициент электроосмотической активности, м^2/(В·с); E – напряженность поля, В/м.

В знаменатели приведенных формул целесообразно ввести дополнительно эффективное удельное электросопротивление массива (УЭС) ρ. Проведенные экспериментально-теоретические исследования показали, что зависимости (1), (2) не вполне отражают механизм электрокинетических процессов, поскольку интенсивность электроосмотических и электрофильтрационных процессов

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 $K_ф$,см/с	
Высоко-активные	10^5–10^3	10^{-9}–10^{-7}	Глины пластичной и текучей консистенции, глинистые илы
Активные	10^5–25	10^{-9}–$4\cdot10^{-7}$	Глины пластичной и текучей консистенции, глинистые илы, частично суглинки и суглинистые илы
Средне-активные	25–2,5	$4\cdot10^{-8}$–$4\cdot10^{-5}$	Суглинки и суглинистые илы, отчасти глины пластичной и текучей консистенции, глинистые илы
Слабоактивные	2,5–0,25	$4\cdot10^{-7}$–$4\cdot10^{-4}$	Суглинки, супеси, суглинистые и супесчаные илы, частично пылеватые пески
Неактивные	<0,25	$4\cdot10^{-9}$ – $4\cdot10^{-4}$	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	$K_э$, м^2/(В·с)	$K_ф$, м/с	m
Супеси	$(3,8–8,5)10^{-1}$	$(2,2–3,2)\cdot10^{-6}$	0,180–0,443
Суглинки	$(0,6–10)10^{-1}$	$7,2\cdot10^{-10}$–$8\cdot10^{-7}$	0,195–0,481
Глины	$(1,77–13)10^{-1}$	$5\cdot10^{-11}$–$6\cdot10^{-10}$	0,187–0,533
Ил	$(0,9–3)10^{-1}$	$2\cdot10^{-12}$–10^{-10}	–

определяется не напряженностью поля E, а плотностью тока [3].

Для того, чтобы использовать электроосмотический процесс в производственных целях, необходим полный анализ основных характеристик, к которым относятся: коэффициент фильтрации $K_ф$; коэффициент электроосмотической активности $K_э$; УЭС грунта ρ; предельное отрицательное давление $P_{пр}$; коэффициент фильтрационного эффекта электроосмоса Ф, который показывает степень изменения коэффициента фильтрации $K_ф$ при воздействии током.

Большинство исследователей отмечает, что главное влияние на электроосмос оказывают два параметра: $K_э$ и K. Параметр $K_э$ в различных грунтах изменяется сравнительно незначительно (в пределах 1–15 раз). При этом величина $K_ф$ меняется у разных грунтов в зависимости от степени дисперсности в значительно больших пределах.

Второй параметр $K = K_э / K_ф$ (коэффициент электроосмоса) 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 10^5 см/В), что объясняет эффективность электроосмотической фильтрации. На основании многочисленных исследований Курденковым Л. И. [4] дана классификация грунтов по степени электроосмотической активности (табл. 2).

Экспериментальные данные о диапазонах изменения параметров грунтов: коэффициент электроосмотической активности $K_э$, коэффициента фильтрации $K_ф$ (получены различными отечественными и зарубежными авторами), пористости m (для условий угольных месторождений Кузбасса [5]) представлены в табл. 3, из которой следует, что величина $K_э$ для всех видов грунтов относительно стабильна, поскольку ее изменение не превышает одного порядка. Вместе с тем, диапазон изменения $K_ф$ достигает 6 порядков. Поскольку в легко проницаемых породах ($K_ф > 10^{-8}$–10^{-7} м/с, супеси, пески, гравелиты) очистка грунтов вполне осуществима традиционными методами, электроосмотическая обработка целесообразна только при $K_ф < 10^{-7}$ м/с (10^{-2} м/сут).

Другим важным параметром, определяющим эффективность применения электроосмотической обработки грунтов, является УЭС грунтов. Экспериментально установлено, что диапазон оптимальной плотности тока при электрообработке составляет j = 6–20 А/м^2. При напряжении силового источника питания U < 100 В данный режим обработки соответствует ρ < 2–20 Ом·м [6].

В результате обобщения полученных ранее результатов исследований по проблеме очистки глинистых грунтов электрохимическим способом установлено следующее:

– применение специальных химических реагентов или растворов ПАВ снижает затраты электроэнергии и времени на очистку;

– с ростом напряженности электрического поля и мощности электрообработки увеличивается скорость извлечения загрязнителя и сокращается продолжительность процесса;

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Королев, А. В.* Очистка грунтов от загрязнителей. – Москва : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 365 с.

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

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

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

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

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

Автор статьи

Простов
Сергей Михайлович
докт. техн. наук, профессор каф.
ТиГМ КузГТУ ,
e-mail: psm.kem@mail.ru.