

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.66.008

УДК 550.84.02:502.55

© Е.А. Шабанов, С.М. Простов, 2018

Е.А. ШАБАНОВ

ст. преподаватель кафедры
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: psm.kem@mail.ru



С.М. ПРОСТОВ

д-р техн. наук,
профессор кафедры
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: psm.kem@mail.ru



ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Изложены обоснование и разработка способов электрофизического контроля степени загрязнения грунтов нефтепродуктами. Установлены диапазоны изменения параметров структуры порового пространства и смачиваемости для условий Кузбасса по результатам обратных расчетов на основе экспериментальных данных. Приведены теоретические зависимости, позволяющие оценивать степень загрязнения грунта нефтепродуктами по результатам продольных и площадных электрических зондирований. Подтверждена возможность оперативного прогноза степени загрязнения грунта по результатам измерений его электросопротивления. Сформирована база данных для интерпретации результатов экспериментальных зондирований при контроле изменения степени загрязнения. Рассмотрено использование экспресс-прогноза численных значений коэффициента загрязнения.

Ключевые слова: НЕФТЕПРОДУКТЫ, ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ, ПОРИСТОСТЬ, ВЛАЖНОСТЬ, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ, КОЭФФИЦИЕНТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.

Введение

Актуальность проблемы очистки грунтов от нефтезагрязнений на горнодобывающих предприятиях (угольных разрезах, шахтах, рудниках) обусловлена большими объемами потребления топлива автомобильным и железнодорожным транспортом, смазочных

материалов при эксплуатации горнодобывающего оборудования, технических масел в электросиловых установках. На угольных разрезах УК «Кузбассразрезуголь» эксплуатируется более 500 большегрузных автосамосвалов «БелАЗ», в которые при заправке заливают несколько тонн горючего, при его хранении и заправке происходят утечки. На

угольных шахтах Кузбасса работает более 180 механизированных комплексов, использующих в гидравлических системах водо-масляную эмульсию, утечки которой загрязняют шахтные воды. Продукты переработки нефти содержат токсичные растворимые в воде фракции, кроме того, бензины и особенно автомасла содержат до 20 % присадок, растворителей, тяжелых металлов [1–4].

Метод электрообработки, позволяющий эффективно управлять свойствами грунтов, особенно малопроницаемых, у которых коэффициент фильтрации $K_{\phi} < 10^{-8}$ м/с, основывается на воздействии на загрязненный грунт, заключающемся в электродеструкции экотоксиканта и электроосмотическом перемещении разбавленного загрязнителя в зону механического удаления. Экспериментально-теоретические основы электрохимического метода разработаны для решения задач технической мелиорации (осушения) и закрепления неустойчивых влагонасыщенных грунтов. Определены критерии наиболее рационального применения указанного метода: отношение коэффициентов электроосмотической активности и фильтрации $K_s / K_{\phi} > 10^7$ и удельное электросопротивление (УЭС) $\rho < 8$ Ом·м [5–7].

Для контроля процессов очистки грунтов от загрязнений применяют прямые и косвенные инструментальные методы. Прямые методы (инфракрасной спектрофотометрии, ультрафиолетовой люминесценции, газовой и газожидкостной хроматографии) предусматривают сложную аппаратуру, значительную продолжительность анализа и обязательное извлечение пробы грунта, при этом погрешность измерений может достигать 40–50 % [8–11].

Методика исследования

Оперативный мониторинг состояния, свойств грунтов и физико-химических процессов в зоне электрообработки может быть обеспечен геофизическими методами, которые являются эффективным дополнением инженерно-геологических изысканий.

Весьма перспективными для исследования нефтезагрязненных грунтов являются электрофизические и электромагнитные методы, которые основаны на измерении параметров электрических полей, так как нефть и нефтепродукты имеют диэлектрические свойства и являются электрически контрастными. На сегодня нет изученности нижеперечисленных аспектов проблемы геолого-геофизического мониторинга процессов электрохимической очистки грунтов от загрязнений нефтью и нефтепродуктами: не обоснованы способы электрофизического контроля уровня загрязнения грунтов нефтепродуктами с учетом структурно-текстурных параметров грунтов, их естественной пористости и влажности; не исследованы закономерности изменения физических и электрических свойств нефтезагрязненных грунтов в зоне электрообработки; не разработаны методики контролируемой электрохимической очистки грунтов от нефтезагрязнений, обеспечивающие рациональные режимы обработки.

В целях контроля уровня загрязнения грунтов нефтепродуктами разумно использовать зависимость удельного электросопротивления трехфазной среды от пористости, влажности и удельного электросопротивления порового заполнителя (1), учитываемую в электроразведке и включающую структурно-текстурные эмпирические параметры [12, 13]:

$$\rho_k = \frac{\alpha \cdot K_n}{m \beta \cdot W \gamma} \cdot \rho_v, \quad (1)$$

где m — пористость (поровая пустотность); W — коэффициент влаго-насыщения пространства пор и трещин; ρ_v — УЭС раствора, заполняющего поровое пространство, Ом·м; K_n , α , β , γ — эмпирические параметры, зависящие от структурно-текстурных особенностей исследуемых грунтов (пород); K_n — параметр, учитывающий поверхностную проводимость глинистого микрослоя на поверхности пор; α — параметр, зависящий от типа геологического отложения; β — параметр, определяемый структурой порового пространства (в основном извилистостью каналов); γ — параметр, зависящий от смачиваемости раствором поверхности пор.

Охват изменения параметров структуры порового пространства $\beta = 1,3-2,2$ и смачиваемости $\gamma = 1,8-3,3$ необходимо принимать для условий Кемеровской области по имеющимся экспериментальным данным, а удельное электросопротивление порового заполнителя рассчитывать по формуле гармонического средневзвешенного для двухкомпонентной среды.

$$\rho_{\text{в}}^{-1} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho_i^{-1} = V_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{э}}^{-1} + V_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{н}}^{-1}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{н}}$, $\rho_{\text{э}}$ — УЭС соответственно средневзвешенного, нефтепродукта и электролита, Ом·м; $V_{\text{н}}$, $V_{\text{э}}$ — объемная доля в растворе соответственно нефтепродукта и электролита.

В ходе экспериментов установлено, что изменение концентрации водного раствора соли до 6,5 % способствует уменьшению величины удельного электросопротивления от 80 до 0,2 Ом·м, а УЭС моторных масел и бензина в диапазоне частот $f = 0-1$ кГц изменяется в диапазоне $(0,2-1,1) \cdot 10^6$ Ом·м. В результате использования экспериментальных и теоретических зависимостей были получены расчетные базы данных УЭС заполнителя пор и эффективного УЭС трехкомпонентной среды для названных диапазонов концентраций водных растворов, частот и соотношения объемных долей нефтепродукта и электролита $V_{\text{н}} / V_{\text{э}} = 0-20$.

Для автоматизации расчета локального коэффициента загрязнения k грунта по экспериментальным данным электрических зондирований разработан алгоритм, включающий подбор оптимальных величин структурных параметров β и γ по критерию минимального отклонения расчетного значения эффективного УЭС от измеренного и расчет значений k по отношению значений эффективных УЭС в пределах зоны загрязнения и вне ее.

Для повышения точности оценки степени загрязнения предложены интегральные параметры I_{s} и I_{v} , включающие суммирование произведений локальных значений k и элементарных площадей или объемов, на которые зона загрязнения разбивается с заданным шагом.

Алгоритмы реализованы в форме программных комплексов в среде FreePascal (про-

дукт Lazarus), прошедших государственную регистрацию.

Для того чтобы провести экспериментальную проверку точности расчетных зависимостей и компьютерной программы, были сопоставлены коэффициенты загрязнения грунта, с которым был перемешан фиксированный объем отработанного масла при известной влажности и пористости. Сопоставление показало, что в диапазоне $k < 20$ % погрешность оценки не превышала 23 %.

При $k > 30$ % имеющийся образец грунта менял свое состояние, переходя из связного состояния в пластичную несвязную суспензию, в результате чего величина $\rho_{\text{к}}$ возрастала, а точность прогноза резко уменьшалась. Установлено также, что для повышения точности расчета следует корректировать величину структурного параметра β по установленной нелинейной зависимости при $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{э}} > 190$.

Для экспресс-анализа при полевых исследованиях можно использовать регрессивные зависимости величин $K_{\text{з}}$ от относительной величины $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{к0}}$, при этом корреляционное отношение $R > 0,9$ имеют полиномиальная, степенная и линейная зависимости.

Результаты и обсуждение

На одномерной физической модели цилиндрической формы с плоскими электродами при обработке в однородном электрическом поле подтверждено, что из-за электрической контрастности водного раствора и нефтезагрязнителя использование микродатчиков удельного электросопротивления дает возможность осуществлять контроль перемещения жидкостей в зоне электрообработки. Результаты исследования показывают, что в чистом грунте перемещение природной влаги осуществляется в сторону анода, что способствует уменьшению уровня УЭС, при наличии в порах нефтепродукта он перемещается в направлении катода, при этом УЭС в точке замера становится выше. Описанные процессы протекают относительно размеренно, их интенсивность во времени зависит от вязкости загрязнителя (масло, мазут, дизельное топливо, бензин). При добавлении в один из

электродов растворителя типа Гексан-Н происходит разбавление нефтепродукта, которое сопровождается скачкообразным изменением удельного электросопротивления, при этом процессы осмотического движения жидкостей усиливаются. Помимо этого установлена общая тенденция к росту уровня УЭС, связанная с изменением структурно-текстурных параметров грунта при электрообработке, что представлено на рис. 1.

Исследования образцов грунтов показали, что за счет термического воздействия электрического тока происходит связывание влаги, коагуляция нефтепродукта в порах с увеличением размеров твердых частиц грунта и их слипание. В результате этих процессов зафиксировано снижение влажности во всех точках модели, снижение плотности грунта, а также резкое снижение содержания фракций > 0,1 мм и увеличение содержания более

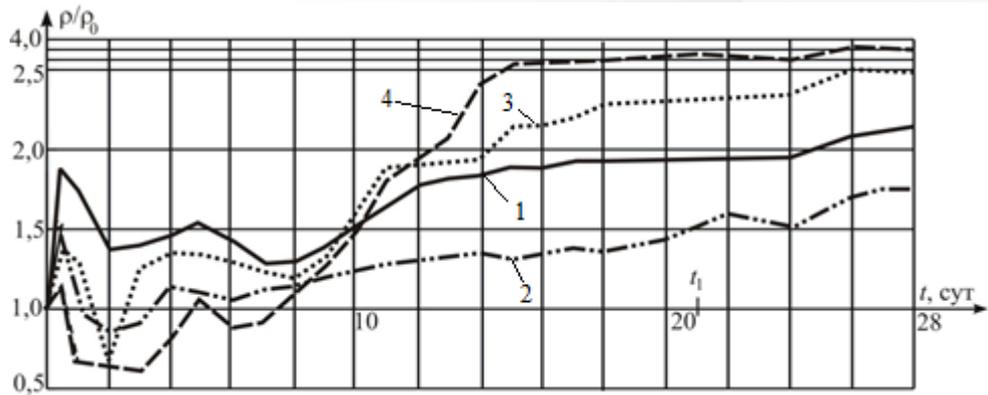


Рис. 1. График изменения относительного УЭС массива при электрохимической очистке от загрязнения мазутом (объем загрязнителя $V = 100$ г): 1 — четырехэлектродный датчик — зонд № 1; 2 — № 2; 3 — № 3; 4 — № 4; t_1 — момент прекращения обработки

крупных фракций (0,1–2,0 мм) в гранулометрическом составе [14, 15].

Наибольшее приближение к натурным условиям представляет объемная модель при реальных размерах установки с двумя трубчатыми электродами-инжекторами, с практически применяемыми диапазонами напряжения до 300 В и плотностью тока до 15 А/м². Объем модели составил 0,15 м³. Направления перемещения порозаполняющих жидкостей в объеме при неоднородном электрическом поле сохраняются: водного раствора — к аноду, а нефтепродукта — к катоду, при этом вероятно вол-

нообразное развитие процессов, т. к. вязкость нефтепродукта выше, чем у воды. В приэлектродных областях с наибольшей плотностью тока имеет место анизотропия УЭС на интервале $r \geq 90$ мм, которая при $r = 150$ мм сглаживается, а при токорасходе $I \cdot t > 50$ А·ч вследствие термического высушивания и консолидации грунта величина УЭС возрастает.

Выявлены количественные диапазоны изменения физико-механических свойств загрязненного грунта: влажность уменьшается на 15–20 %, а плотность — на 2–10 % и в сухом, и во влажном состояниях (табл. 1).

Таблица 1

Изменение физических параметров грунта в результате электрообработки

Ванна № расположение пробы	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³
№ 1 на +электроде	35,3/28,1	2,38/2,22	1,76/1,728
№ 1 в середине	35,2/30,1	2,33/2,2	1,73/1,694
№ 1 на –электроде	35,2/29,6	2,14/2,01	1,58/1,55
№ 2 на +электроде	39,4/29,1	2,51/2,28	1,8/1,766

Ванна № расположение пробы	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³
№ 2 в середине	39,4/31,3	2,48/2,23	1,78/1,746
№ 2 на –электроде	39,4/28,8	2,44/2,22	1,75/1,72

В результате коагуляции нефтепродукта на поверхности частиц породы и их слипания происходит уменьшение содержания фракций < 0,1 мм в 2–5 раз, а увеличение со-

держания фракций 0,1 мм на 30–63 % [14, 15]. Особенно интенсивно процесс изменения гранулометрического состава грунта происходит в прианодной зоне (табл. 2).

Таблица 2

Изменение гранулометрического состава грунта в результате электрообработки

Ванна № расположение пробы	Содержание фракций (в мм), % (до/после обработки)				
	2	0,5	0,25	0,1	< 0,1
№ 1 на +электроде	8,8/12	33,3/36	17,5/15	19,2/19	21,2/18
№ 1 в середине	8,8/9,8	33,3/34,1	17,5/16,2	19,2/23	21,2/16,9
№ 1 на –электроде	8,8/9,5	33,3/37,2	17,5/15,7	19,2/22	21,2/15,6
№ 2 на +электроде	8,8/6,1	33,3/41,8	17,5/15,8	19,2/31,2	21,2/5,1
№ 2 в середине	8,8/7,3	33,3/38,2	17,5/16,3	19,2/26,2	21,2/12
№ 2 на –электроде	8,8/8,6	33,3/43,7	17,5/14,5	19,2/24,8	21,2/8,4
№ 2 на –электроде	8,8/8,6	33,3/43,7	17,5/14,5	19,2/24,8	21,2/8,4

Дополнительное введение в электроды-инъекторы активного вещества-растворителя Гексан-Н приводит к разжижению нефтепродукта и его перемешиванию в порах с естественной влагой, что нарушает монотонность процессов изменения УЭС в прикатодной области, где происходит дополнительное скопление жидкого нефтепродукта, и замедляет интенсивность консолидации грунта в прианодной области. Особенно резко это проявляется при грунтах, загрязненных более вязким отработанным маслом (рис. 2).

Проведенные после завершения обработки извлечение и визуальный осмотр грунта подтвердили результаты геологического и геофизического мониторинга: образование уплотненного грунта с характерным темным оттенком в прианодной области и рыхлого грунта естественного цвета с пятнами нефтепродукта в прикатодной.

Натурные исследования, проведенные на полигоне ООО «НООЦЕНТР», полностью соответствовали реальным схемам электро-

химической обработки загрязненных грунтов по количеству электродов, глубине и интервалу их установки, токовому режиму и продолжительности обработки. Испытаны все ранее примененные в лабораторных условиях виды обработки и различные по вязкости виды загрязнителей. Дополнительно к ранее применявшимся методам инженерно-геологических изысканий и микродатчиков УЭС применялись интегральные геофизические методы электрического зондирования на постоянном токе и георадиолокации. Принципиальное отличие условий натурального эксперимента от лабораторного состояло в том, что опытный участок массива физически не изолирован от прилегающих грунтов и атмосферы.

Анализ результатов исследований образцов и измерений микродатчиками УЭС соответствует результатам лабораторных экспериментов, характеризующих закономерности изменения физических свойств грунтов в прикатодной и прианодной областях, но количественно диапазоны свойств изменились,

что связано с дополнительным поступлением влаги из прилегающих грунтов и атмосферы. Так, диапазон снижения уровня влажности составил 3–6 %, а плотности — 3–7 %, содержание частиц с размером < 0,1 мм снизилось в зависимости от вида загрязнителя от 1,15 до 1,61 раза (рис. 3). Визуально в результате вскрытия подтверждено формирование уплотненной прианодной зоны и скопления остаточного нефтепродукта.

Георадиолокационное и электрическое зондирования проводили по одному продольному и трем поперечным профилям. На

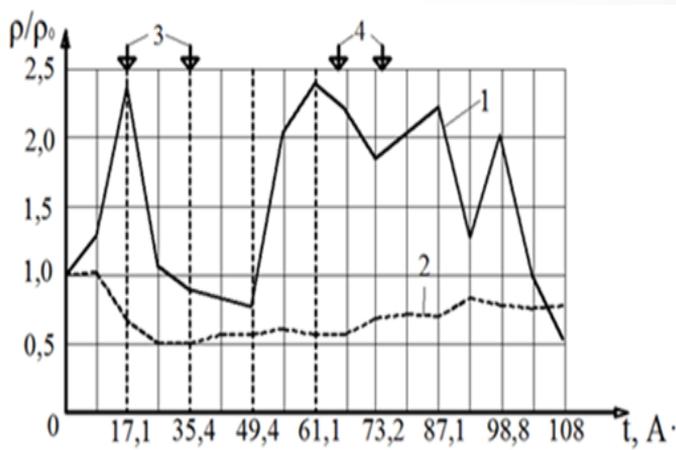


Рис. 2. Изменение УЭС, загрязненного отработанным маслом грунта, с очисткой растворителем при электрохимической обработке: 1 — на датчике № 1 около отрицательного электрода; 2 — на датчике № 8 около положительного электрода; 3 — момент подачи растворителя в положительный электрод; 4 — момент подачи растворителя в отрицательный электрод

Позонный мониторинг изменений ρ_k , когда в качестве измерительных использовали электроды-инъекторы, показал, что на интервале времени обработки $t = 48-72$ ч происходит монотонное снижение ρ_k в 2–5 раз при всех загрязнителях и схемах обработки, обусловленное миграцией и коагуляцией загрязнителя, увеличением пористости, поступлением влаги из прилегающих грунтов и ат-

радарограммах загрязненные нефтепродуктами участки шириной 2–2,4 м и глубиной до 1,5–1,8 м характеризуются ослаблением горизонтальных линий синфазности. На графиках электропрофилеирования (ЭП) и вертикального зондирования (ВЭЗ) данные зоны диагностируются по повышенным значениям эффективного УЭС ρ_k , при этом величины интегральных значений ρ_k до, после загрязнения и после обработки составили: для схемы ЭП соответственно 13,1, 21,2, 17,3 Ом·м; для схемы ВЭЗ — 14,1, 22,3, 16,7 Ом·м [16].

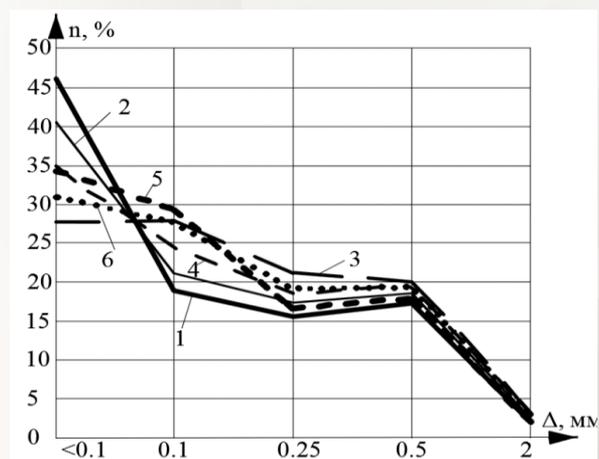


Рис. 3. Изменение гранулометрического состава грунта в зависимости от вида обработки и времени: 1 — чистая глина до электрообработки; 2 — чистая глина после электрообработки; 3 — загрязнение отработанным маслом после электрообработки; 4 — загрязнение бензином после электрообработки; 5 — загрязнение отработанным маслом после электрообработки с растворителем; 6 — загрязнение бензином после электрообработки с растворителем

мосферы (рис. 4) [16].

Использование исследованных ранее регрессивных зависимостей показывает, что расчетный коэффициент загрязнения в результате обработки снижается от известного начального значения $k = 7$ % до 2–3,6 % при загрязнении отработанным маслом и до 2,6–4,5 % — при загрязнении бензином, что отражено в таблице 3.

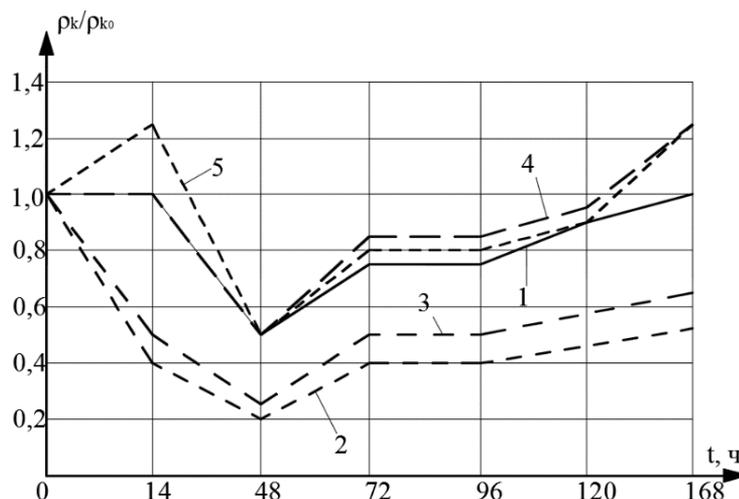


Рис. 4. График изменения во времени t относительного эффективного электросопротивления при электрическом зондировании: 1 — чистый глинистый массив; 2 — загрязненный отработанным маслом массив; 3 — загрязненный бензином массив; 4 — загрязненный отработанным маслом массив с обработкой растворителем; 5 — загрязненный бензином массив с обработкой растворителем

Таблица 3

Зависимость коэффициента загрязнения k от относительного изменения эффективного электросопротивления грунта в образце

Уравнение	Значение постоянной a при загрязнении		Значение k		
	маслом	бензином	начальное $k_0, \%$	конечное $k, \%$	
				масло	бензин
$k = a_1 \cdot \frac{\rho_k}{\rho_{k0}}$	$a_1 = 2,8$	$a_1 = 3,5$	7	3,64	4,55
$k = a_2 \cdot \ln\left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}}\right)$	$a_2 = 7,64$	$a_2 = 10,1$		2	2,65
$k = a_3 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}}\right)^2$	$a_3 = 1,12$	$a_3 = 1,75$		1,9	2,96
$k = a_4 \cdot \exp\left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}}\right)$	$a_4 = 0,575$	$a_4 = 0,95$		2,11	3,49

Выводы

Основные научно-практические результаты сводятся к следующему:

1. Определение расположения и размеров (диагностирование) зоны нефтезагрязнения методом георадиолокации обеспечивается по ослаблению горизонтальных линий синфазности на радарограммах и методом электрического зондирования по положительным аномалиям на графиках вертикального зондирования и профилирования. Результатом

диагностирования с помощью системы продольных и поперечных профилей является объемная модель зоны загрязнения. Экспресс-контроль изменения коэффициента загрязнения k в процессе электрообработки грунта обеспечивается по величине эффективного УЭС ρ_k при схеме позонного интегрального зондирования с использованием в качестве измерительных электродов-инъекторов. При опытных испытаниях после обработки в течение 168 ч величина k при загряз-

нении отработанным маслом снизилась с 7 до 2,11 %, а при загрязнении бензином — до 3,49 % (для экспоненциальной зависимости).

2. По возможности диагностирования зон загрязнения различают объекты открытые, частично открытые и закрытые. Для объектов каждого типа по результатам радиолокационного или электрического зондирования строят модель зоны загрязнения, по величине интегрального показателя k принимают решение о выемке грунта (объекты открытого типа) или его электрохимической обработке (объекты частично открытого или закрытого типов).

3. Максимальное использование возможностей электросиловой установки обеспечивается увеличением напряжения обработки и увлажнением приэлектродных зон, при этом моменты регулировки режима или прекращения обработки определяют по стабилизации величины k .

4. Использование разработок позволяет повысить экологическую безопасность горных работ, а также снизить трудозатраты и расход электроэнергии за счет рационального режима электрообработки. Для объекта объемом 200 м³ экономия затрат на электроэнергию составит более 14,0 тыс. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seredina V.P., Sadykov M.E. The soils of West Siberia middle taiga oil deposits and a predictive estimate of contamination hazard with organic pollutants // *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. № 5. P. 457.
2. Efremova V.A., Dabakh E.V., Kondakova L.V. A chemical and biological assessment of the state of urban soils // *Contemporary Problems of Ecology*. 2013. № 5. P. 561–568.
3. Kolesnikov S.I., Zharkova M.G., Kazeev K.Sh. Ecotoxicity assessment of heavy metals and crude oil based on biological characteristics of chernozem // *Russian Journal of Ecology*. 2014. № 3. P. 157–166.
4. Kukharchyk T.I., Khomich V.S. Contamination of soils in the urbanized areas of belarus with polycyclic aromatic hydrocarbons // *Eurasian soil science*. 2013. № 2. P. 145–152.
5. Korolev V.A., Romanyukha O.V., Abyzova A.M. Electrokinetic remediation of oil-contaminated soils // *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 2008. T. 43. № 8. P. 876–880.
6. Gratchev I., Towhata I. Stress-strain characteristics of two natural soils subjected to long-term acidic contamination // *Soils and foundations*. 2013. № 3. P. 469–476.
7. Tsai C.J., Feng C.H., LI J.H. Dual dispersive liquid-liquid microextraction for determination of phenylpropenes in oils by gas chromatography-mass spectrometry // *Journal of chromatography*. 2015. № 1410. P. 60–67.
8. Zhou Z., Bing F., Tao W., Song X. Alternative method for the determination of the antioxidant content in transformer oil by electrochemical techniques // *IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation*. 2012. № 5. P. 149–1501.
9. Kovalenko E.Y., Sagachenko T.A., Golushkova E.B. The study of the composition of oils and structure of their components during the preliminary refining of oil feedstock with metal powders // *Petroleum chemistry*. 2016. № 2. P. 101–108.
10. Smernikov S.A., Pozdnyakov A.I., Shein E.V. Assessment of soil flooding in cities by electrophysical methods // *Eurasian soil science*. 2008. № 10. P. 1059–1065.
11. Leiss B., Ullemeyer K., Weber K. Introduction to the special issue: textures and physical properties of rocks // *Journal of structural geology*. 2000. № 11–12. P. 1527–1529.
12. Prostov S.M., Khyamyalyainen V.A., Bakhaeva S.P. Interrelation among electrophysical properties of clay rocks, their porosity and moisture saturation // *Journal of Mining Science*. 2006. № 4. P. 349–359.

13. Shtumpf G.G. Aqueous-physical properties of coal-measure rocks // Journal of Mining Science. 1993. № 6. P. 59–66.

14. Prostov S.M., Shabanov E.A. 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. Vol. 92. P. 175–183.

15. Prostov S.M., Gucal M.V., Shabanov E.A. Physical basis of controlled electrochemical cleaning of soils from petroleum // Proceedings of the Taishan Academic Forum — Project on Mine Disaster Prevention and Control / Atlantis Press. 2014. P. 433–441.

16. Шабанов Е.А., Простов С.М. Геолого-геофизический мониторинг процессов электрохимической очистки грунтовых оснований горнотехнических сооружений от загрязнений нефтепродуктами // Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения: Сб. трудов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции (Кемерово, 21–22 декабря 2017 г.). URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Есoprom/2017/egpp/> (дата обращения: 31.08.2018).

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.66.008

UDC 550.84.02:502.55

© E.A. Shabanov, S.M. Prostov, 2018

E.A. SHABANOV

Senior Professor of Department

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo

e-mail: psm.kem@mail.ru

S.M. PROSTOV

Doctor of Engineering Sciences

Professor of Department

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo

e-mail: psm.kem@mail.ru

RAPID MONITORING OF ELECTROCHEMICAL CLEANING OF SOIL FROM PETROLEUM POLLUTION

The article presents the rationale and development of electrophysical methods of control of the degree of soils pollution with petroleum products. The variation ranges for the parameters of the pore space structure and wettability for the Kuzbass conditions are determined by inverse calculations based on the experimental data. The theoretical dependences which allow assessing the degree of soil pollution with oil products according to the results of longitudinal and areal electrical sounding are shown. The possibility of rapid prediction of the degree of soil contamination by measuring its electrical resistance is confirmed.

The database has been compiled for interpretation of the results of experimental sounding when monitoring the changes in the degree of contamination. The use of the express forecast of numerical values of the contamination factor is studied.

Keywords: PETROLEUM PRODUCTS, ELECTRICAL RESISTANCE, PORE VOLUME, MOISTURE, GRANULOMETRIC COMPOSITION, CONTAMINATION FACTOR.

REFERENCES

1. Seredina V.P., Sadykov M.E. The soils of West Siberia middle taiga oil deposits and a predictive estimate of contamination hazard with organic pollutants // *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. № 5. pp. 457.
2. Efremova V.A., Dabakh E.V., Kondakova L.V. A chemical and biological assessment of the state of urban soils // *Contemporary Problems of Ecology*. 2013. № 5. pp. 561–568.
3. Kolesnikov S.I., Zharkova M.G., Kazeev K.Sh. Ecotoxicity assessment of heavy metals and crude oil based on biological characteristics of chernozem // *Russian Journal of Ecology*. 2014. № 3. pp. 157–166.
4. Kukharchyk T.I., Khomich V.S. Contamination of soils in the urbanized areas of belarus with polycyclic aromatic hydrocarbons // *Eurasian soil science*. 2013. № 2. pp. 145–152.
5. Korolev V.A, Romanyukha O.V., Abyzova A.M. Electrokinetic remediation of oil-contaminated soils. *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 2008. T. 43. № 8. pp. 876–880.
6. Gratchev I., Towhata I. Stress-strain characteristics of two natural soils subjected to long-term acidic contamination. *Soils and foundations*. 2013. № 3. pp. 469–476.
7. Tsai C.J., Feng C.H., LI J.H. Dual dispersive liquid-liquid microextraction for determination of phenylpropenes in oils by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of chromatographya*. 2015. № 1410. pp. 60–67.
8. Zhou Z., Bing F., Tao W., Song X. Alternative method for the determination of the antioxidant content in transformer oil by electrochemical techniques. *IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation*. 2012. № 5. pp. 149–1501.
9. Kovalenko E.Y., Sagachenko T.A., Golushkova E.B. The study of the composition of oils and structure of their components during the preliminary refining of oil feedstock with metal powders. *Petroleum chemistry*. 2016. № 2. pp. 101–108.
10. Smernikov S.A., Pozdnyakov A.I., Shein E.V. Assessment of soil flooding in cities by electro-physical methods. *Eurasian soil science*. 2008. № 10. pp. 1059–1065.
11. Leiss B., Ullemeyer K., Weber K. Introduction to the special issue: textures and physical properties of rocks. *Journal of structural geology*. 2000. № 11–12. pp. 1527–1529.
12. Prostov S.M., Khyamyalyainen V.A., Bakhaeva S.P. Interrelation among electrophysical properties of clay rocks, their porosity and moisture saturation. *Journal of Mining Science*. 2006. № 4. pp. 349–359.
13. Shtumpf G.G. Aqueous-physical properties of coal-measure rocks. *Journal of Mining Science*. 1993. № 6. pp. 59–66.
14. Prostov S.M., Shabanov E.A. 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. Vol. 92. pp. 175–183.
15. Prostov S.M., Gucal M.V., Shabanov E.A. Physical basis of controlled electrochemical cleaning of soils from petroleum. *Proceedings of the Taishan Academic Forum — Project on Mine Disaster Prevention and Control / Atlantis Press*. 2014. pp. 433–441.
16. Shabanov E.A., Prostov S.M. Geological-and-geophysical monitoring of electrochemical cleaning of soil from petroleum pollution. *Environmental problems of industrial and resource extraction areas: solutions: Collection of works of the II All-Russian research and training conference (Kemerovo, December 21–22, 2017)*. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Ecoprom/2017/egpp/> (accessed: 31.08.2018). (In Russ.).