

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР
MINING AND OIL AND GAS FIELD GEOLOGY, GEOPHYSICS,
SURVEYING AND GEOMETRY OF THE SUBSURFACE**

Научная статья

УДК 662.741

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-101-108

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА
НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВ**

**Простов Сергей Михайлович,
Шабанов Евгений Анатольевич,
Бушуев Александр Александрович**

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: bushuevaa@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

01 апреля 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 сентября 2025 г.

Принята к публикации:

30 сентября 2025 г.

Опубликована:

23 октября 2025 г.

Ключевые слова:

Экология, грунт, загрязнение,
кислота, щелочь, нефть,
нефтепродукты,
электросопротивление

Аннотация.

Дан анализ состояния проблемы загрязнения грунтов экотоксикантами. По химическо-биологическим признакам все загрязнения подразделяются на четыре основных вида: неорганические, органические, радиоактивные, биоорганические. Теоретически обоснована физическая причина формирования аномалий удельного электросопротивления (УЭС) в зонах загрязнения растворами кислот (щелочей) и нефтепродуктами. Анализ электропроводящих свойств песчано-глинистых грунтов как трехфазной среды (твердые частицы – воздух – порозаполняющая жидкость) позволил установить, что высокопроводящие экотоксиканты на основе неорганических веществ и малопроводящие, включающие нефть и ее продукты, относятся к электрически контрастным. Прямой расчет коэффициента загрязнения k_z осложняется необходимостью знания показателей пористости и влажности грунта, а также структурно-текстурных параметров. Проведен комплекс лабораторных исследований на образцах грунтов, искусственно загрязненных экотоксикантами. Образец чистого грунта (суглинок) комнатной сухости смешивался миксером с фиксированным количеством загрязнителя (растворов кислоты H_2SO_4 , щелочи $NaOH$, отработанного автомобильного масла), затем помещался в измерительную ячейку и уплотнялся. Коэффициент загрязнения k_z определялся по отношению масс экотоксиканта и грунта. Приближенная оценка величины k_z для образцов грунтов в лабораторных и в натурных (производственных) условиях, в том числе в дистанционном и автоматизированном режимах, по результатам электрических зондирований обеспечивается с помощью регрессионных зависимостей по отношению эффективного УЭС к начальному значению.

Для цитирования: Простов С.М., Шабанов Е.А., Бушуев А.А. Экспериментально-аналитическое обоснование метода непрерывного мониторинга процессов загрязнения грунтов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 5 (171). С. 101-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-101-108, EDN: ARNWHT

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации одними из наиболее существенных экономических и экологических проблем являются предотвращение загрязнения грунтов экотоксикантами и ликвидация результатов подобных загрязнений. Основными источниками загрязнения грунтов и почв неорганическими (растворы щелочей и кислот) и органическими (нефть и нефтепродукты) веществами являются различные предприятия топливно-энергетического комплекса, объекты горнодобывающей, горноперерабатывающей, химической, металлургической, военной и машиностроительной отраслей промышленности [2-4].

Загрязнение грунтов – это процесс, связанный с привнесением или возникновением в грунтах новых, не характерных для них, компонентов, оказывающих негативное воздействие на экосистему. Данный процесс может быть естественным или искусственным (техногенным) [5-6].

Большому проценту экологических проблем, связанных с загрязнением грунтов, характерен техногенный характер.

Загрязнитель – это физический, химический или биологический компонент, который оказывает негативное воздействие на биоту.

Загрязнители по площади распространения в грунтовом массиве подразделяются на следующие виды:

- локальные, сконцентрированные на конкретно малом участке грунтового массива;
- региональные или рассеянные, распространенные на значительной (маштабной) территории грунтового массива.

Ореолы загрязнения в плане по площади и по форме подразделяются на: линейные, овальные (концентрические), неправильной формы, сплошные площадные.

По глубине расположения в грунтовом массиве разделяют следующие виды зон загрязнения [7]:

- поверхностные, расположенные в почвенном (растительном) слое или непосредственно на поверхности грунтового массива (на глубине от 0 до 0,25 м);
- подпочвенные, расположенные непосред-

ственно под грунтовым массивом (на глубине от 0,25 до 1 м и более в зависимости от мощности пласта);

- глубинные или погребенные, расположенные на определенной глубине в теле грунтового массива (на глубине от первых до десятков метров);

- сверхглубинные, расположенные на значительных глубинах в теле грунтового массива (на глубине сотен и тысяч метров).

По химическо-биологическим признакам все загрязнения подразделяются на четыре основных вида: неорганические, органические, радиоактивные, биоорганические (Таблица 1).

При наличии высоких концентраций растворов кислот и щелочей, нефти и нефтепродуктов в грунтовых водах имеется тенденция повышения содержания тяжелых металлов: марганца, свинца, кадмия, хрома, меди, цинка, никеля и в особенности алюминия. Тяжелые металлы способны проникать на поверхность через корневую систему флоры, вызывая отравление и гибель растений. При этом концентрированные растворы кислот и щелочей, нефть и нефтепродукты негативно влияют на здоровье человека своим токсическим воздействием, способным вызвать ожоги и отравления организма [8-11].

Электропроводящие свойства песчано-глинистых грунтов как трехфазной среды (твердые частицы – воздух – порозаполняющая жидкость) исследованы для условий электроразведки и изложены в фундаментальных работах Г. Е. Арчи, В. Н. Кобрановой, С. Г. Комарова, В. Н. Дахнова и др. Твердые частицы сухого грунта и воздух являются практически диэлектриками. Таким образом, удельное электросопротивление (УЭС) грунтового массива определяется УЭС жидкости ρ_v , полностью или частично заполняющей поровое пространство. Для природной влаги, представляющей собой раствор минеральных солей, в зависимости от концентрации диапазон УЭС составляет $\rho_n = 1-100$ Ом·м. При попадании в поры жидкого загрязнителя происходит изменение величины ρ_v , зависящее от величины УЭС загрязнителя (экотоксиканта) ρ_z . Из Таблицы 1 следует, что одними из наиболее распространенных загрязнителей являются растворы

Таблица 1. Основные виды загрязнителей

Table 1. Main types of pollutants

Неорганические	Органические	Радиоактивные	Биоорганические
Тяжелые металлы	Низкомолекулярные органические соединения, фенолы	Радиоактивные элементы	Органические и органоминеральные соединения биологического происхождения
Минеральные соли и вещества	Нефть, нефтепродукты		
Неорганические кислоты	Красители		Живые токсичные загрязнители
Щелочи	Органические кислоты		

неорганических веществ (кислот, щелочей, солей), а также нефть и нефтепродукты (масла, жидкое топливо). Для концентрированных и разбавленных растворов неорганических веществ диапазон УЭС составляет $\rho_3 = 0,01-1$ Ом·м; для нефти и нефтепродуктов $\rho_3 = 10^{10}-10^{12}$ Ом·м.

При $\rho_n \approx \rho_3$ загрязненная зона не может быть выявлена методами электроразведки, при $\rho_n \gg \rho_3$ (неорганические экотоксиканты) формируется отрицательная аномалия эффективного УЭС ρ_k , при $\rho_n \ll \rho_3$ – положительная. Таким образом, высокопроводящие экотоксиканты на основе неорганических веществ и малопроводящие, включающие нефть и ее продукты, относятся к электрически контрастным.

Изложенное выше является физической основой метода контроля процессов загрязнения грунтов электрически контрастными экотоксикантами, включающего диагностирование загрязненных зон, непрерывный (в том числе автоматический и дистанционный) мониторинг процессов накопления загрязнителя, а также изменение его концентрации при применении неизвлекающих методов дезактивации.

Целью работы является установление количественных взаимосвязей пространственно-временных аномалий УЭС песчано-глинистых грунтов, загрязненных электрически контрастными веществами, с концентрацией экотоксиканта.

Взаимосвязь эффективного УЭС ρ_k (в Ом·м)

песчано-глинистых грунтов четвертичных отложений с электропроводящими свойствами жидкого заполнителя порового пространства описывается эмпирической зависимостью, полученной по результатам обобщения обширных баз данных, представленных в вышеупомянутых фундаментальных монографиях по теории и практике электроразведки, которая с учетом ряда преобразований, приведенных в работах [12, 13], может быть представлена в следующем виде:

$$\rho_k = k_n^{-b} k_v^{-c} \rho_v, \quad (1)$$

где k_n – коэффициент пористости грунта (отношение объема пор к объему твердой фазы); k_v – коэффициент влагонасыщенного грунта (отношение объема влаги к объему порового пространства); ρ_v – УЭС влаги, заполняющей поровое пространство, Ом·м; b и c – эмпирические структурно-текстурные параметры, зависящие, соответственно, от топологии порового пространства и степени проявления гидрофильности поверхности твердой фазы.

Входящие в уравнение (1) физические параметры k_n и k_v можно определить по результатам инженерно-геологических изысканий, а эмпирические параметры b и c могут изменяться в довольно широких диапазонах. В КузГТУ выполнены обратные расчеты с использованием банка данных электрических зондирований в различных геологических районах Кузбасса, позволяющие по экспериментальным значениям соотношений

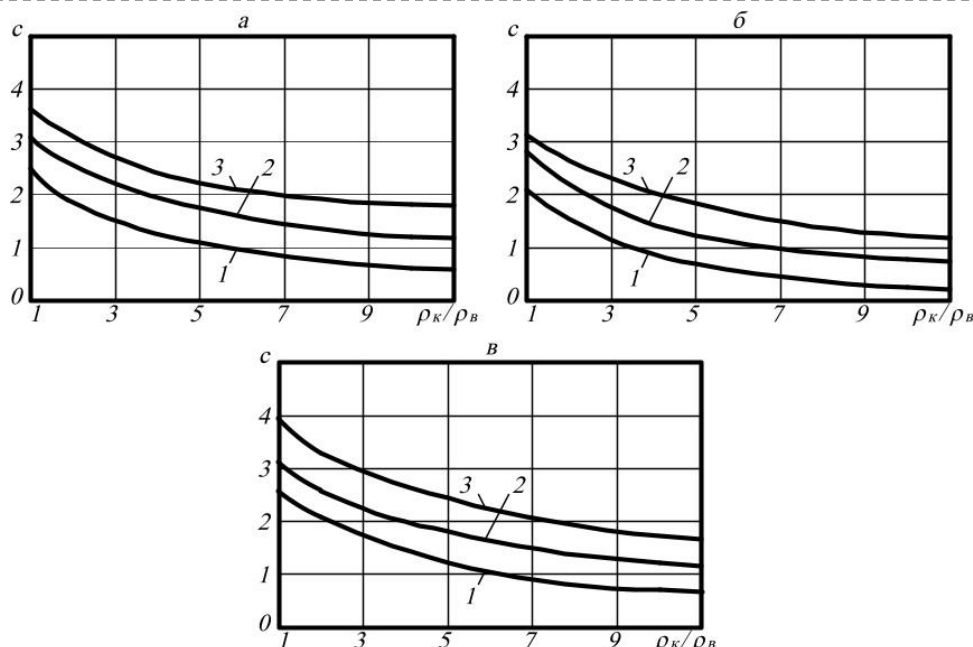


Рис. 1. Расчетные зависимости между структурными параметрами b и c глинистых грунтов для условий Кузбасса: супесей ($\bar{k}_n = 0,45$, $\bar{k}_s = 0,19$) (а); суглинков ($\bar{k}_n = 0,42$, $\bar{k}_s = 0,23$) (б); глин ($\bar{k}_n = 0,38$, $\bar{k}_s = 0,19$) (в); 1 – $b = 1,8$; 2 – $b = 2,2$; 3 – $b = 2,6$

Fig. 1. Calculated relationships between structural parameters b and c of clay soils for Kuzbass conditions: sandy loams ($\bar{k}_n = 0,45$, $\bar{k}_s = 0,19$) (а); loams ($\bar{k}_n = 0,42$, $\bar{k}_s = 0,23$) (б); clays ($\bar{k}_n = 0,38$, $\bar{k}_s = 0,19$) (в); 1 – $b = 1,8$; 2 – $b = 2,2$; 3 – $b = 2,6$

ρ_k/ρ_b при принятых усредненных значениях параметров k_{Π} и k_b для супесей, суглинков и глины получить зависимости между параметрами b и c , представленные в графической диаграмме на Рис. 1.

Для расчета величины ρ_b двухкомпонентной среды целесообразно воспользоваться формулой гармонического средневзвешенного [14]:

$$\rho_b^{-1} = V_3 \rho_3^{-1} + V_{\Pi} \rho_{\Pi}^{-1}, \quad (2)$$

где V_3 , V_{Π} – доли, соответственно, загрязняющей и природной жидкости; ρ_{Π} , ρ_3 – УЭС этих жидкостей, Ом·м.

После подстановки ρ_b из уравнения (2) в (1) можно получить:

$$\rho_k = \frac{k_{\Pi}^{-b} k_b^{-c} (V_3 \rho_{\Pi} + \rho_3 - V_3 \rho_3)}{\rho_{\Pi} \rho_3}. \quad (3)$$

Величину V_3 можно получить из уравнения (3) для двух случаев:

1) $\rho_{\Pi} \gg \rho_3$ (контрастный высокопроводящий загрязнитель – кислота, щелочь, солевой раствор):

$$V_3 = \frac{\rho_3}{\rho_{\Pi}} k_{\Pi}^b k_b^c; \quad (4)$$

2) $\rho_{\Pi} \ll \rho_3$ (контрастный низкопроводящий загрязнитель – нефть или нефтепродукт):

$$V_3 = 1 - \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_3} k_{\Pi}^b k_b^c. \quad (5)$$

В абсолютных единицах степень загрязнения грунта экотоксикантом в процентах можно

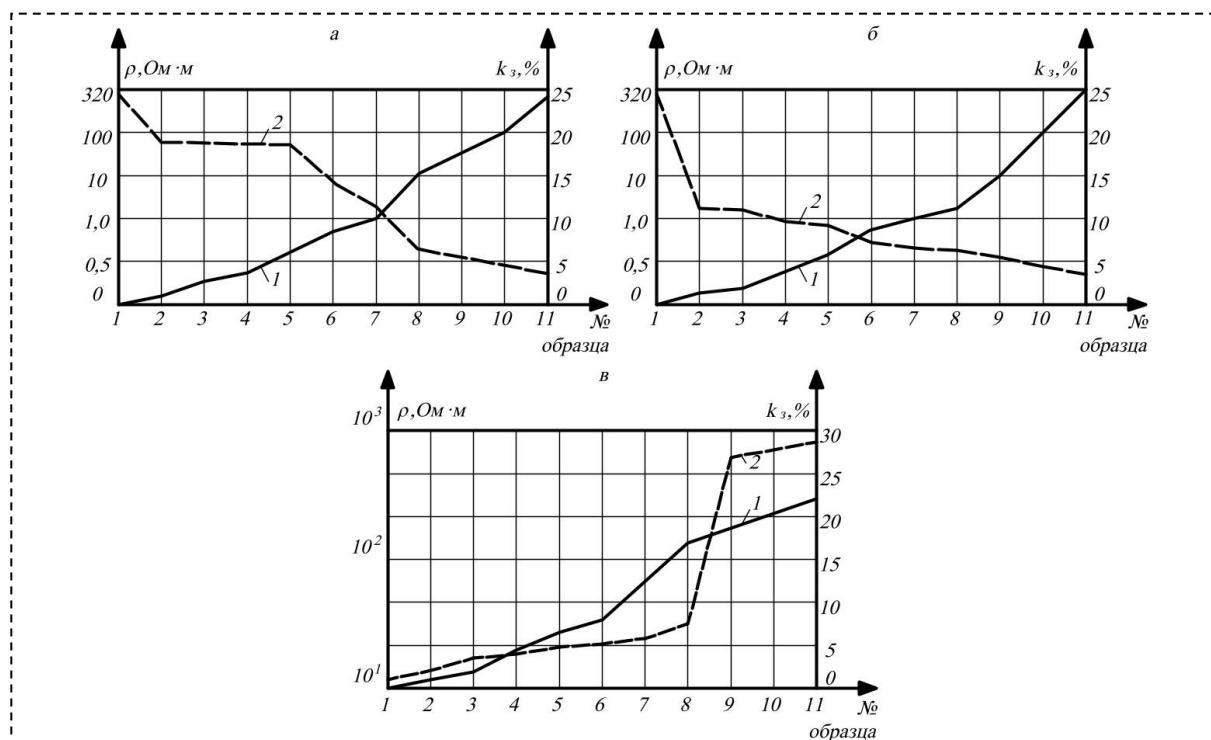


Рис. 2. Результаты измерений УЭС ρ_k и коэффициента загрязнения k_3 образцов суглинка, смешанного с раствором: H_2SO_4 (а); $NaOH$ (б); отработанного машинного масла (в); 1 – k_3 ; 2 – ρ_k

Fig. 2. Results of measurements of the SER ρ_k and the pollution coefficient k_3 of loam samples mixed with a solution of: H_2SO_4 (a); $NaOH$ (b); used machine oil (c); 1 – k_3 ; 2 – ρ_k

Таблица 2. Результаты статистической обработки эксперимента

Table 2. Results of statistical processing of the experiment

Загрязнитель	Уравнение регрессии	Корреляционное отношение, R	Критерий Фишера, F	Критическое значение, $F_{кр}$
Раствор H_2SO_4	$k_3 = 67,63 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}}\right)^{-1,55}, \%$	0,919	101,5	5,12
Раствор $NaOH$	$k_3 = 3,55 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}}\right)^{-0,82}, \%$	0,982	496,6	5,12
Отработанное автомобильное масло	$k_3 = 18,6 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}}\right)^2 - 42,7 \cdot \frac{\rho_k}{\rho_{k0}} + 24,4, \%$	0,981	81,7	9,55

оценить коэффициентом загрязнения:

$$k_z = \Pi V_z, \quad (6)$$

где Π – общая пористость грунта, %.

Проведенный теоретический анализ показал, что расчет коэффициента загрязнения k_z на основе данных электрофизического мониторинга по формулам (4) – (6) осложняется необходимостью определения в натурных условиях физических параметров грунтового массива k_n , k_v , Π . Структурно-текстурные параметры b и c при этом можно определять путем подбора по экспериментальным данным отношения ρ_k/ρ_v с помощью циклического алгоритма, предложенного в работе [15], и зависимостей на Рис. 1.

Другим возможным путем достижения поставленной цели является подход, часто используемый в геофизике, состоящий в отнесении информирующего параметра к некоторому значению, соответствующему «эталонным» условиям или началу измерений. Для реализации этой идеи был проведен комплекс лабораторных исследований на образцах грунтов, искусственно загрязненных экотоксикантами.

Методика проведения исследования

Методика эксперимента состояла в следующем [16]. Образец чистого грунта (суглинок) комнатной сухости смешивался миксером с фиксированным количеством загрязнителя (растворов кислоты H_2SO_4 , щелочи $NaOH$, отработанного автомобильного масла), затем помещался в измерительную ячейку и уплотнялся. Коэффициент загрязнения k_z определялся по отношению масс экотоксиканта и грунта. Измерения УЭС загрязненного грунта выполнялись с помощью погружных 4-электродных датчиков AMNB ($AM = MN = ND = 1$ см) прибором «Электротест-2Pm/bt». Результаты измерений приведены на Рис. 2.

Результаты и обсуждение исследования

Представленные экспериментальные результаты качественно подтверждают теоретические зависимости (3) – (5):

- снижение величины ρ_k при соблюдении неизменных структурных параметров грунта для кислотного и щелочного загрязнителей сопровождается увеличением показателей загрязнения V_z и k_z ;

- при загрязнении грунта нефтепродуктом взаимосвязь ρ_k и k_z обратная.

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных позволила получить регрессионные зависимости для приближенного экспресс-прогноза величины k_z по отношению ρ_k/ρ_0 (ρ_0 – величина ρ_k при $k_z = 0$), приведенные в Таблице 2.

Достаточно высокие критерии тесноты связи и надежности оценки полученных уравнений регрессии обеспечивают возможность оценивать

степень загрязненности грунтов экотоксикантами не только в лабораторных условиях на пробах грунтов, но и в полевых (производственных) условиях по результатам электрических зондирований.

Основные результаты и выводы

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Физической причиной формирования аномальных по удельному электросопротивлению (УЭС) зон является частичное заполнение порового пространства песчано-глинистых грунтов электрически контрастными экотоксикантами, при этом отрицательные аномалии характерны для неорганических загрязнителей (растворы кислот, щелочей, солей), а положительные – для нефти и нефтепродуктов.

2. Прямой расчет коэффициента загрязнения k_z осложняется необходимостью знания показателей пористости и влажности грунта, а также соответствующих структурно-текстурных параметров.

3. Приближенная оценка величины k_z в лабораторных условиях для образцов грунтов и в натурных (производственных) условиях по результатам электрических зондирований обеспечивается с помощью регрессионных зависимостей (степенной для растворов кислот и щелочей, полиномиальной для нефти и нефтепродуктов), в том числе в дистанционном и автоматизированном режимах, по отношению эффективного УЭС к начальному значению, соответствующему незагрязненному состоянию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев В. А. Очистка грунтов от загрязнений. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Геол. фак. Москва : Наука / Интерпериодика; 2001. 364 с.
2. Галкин В. И., Середин В. В., Лейбович Л. О., Пушкарева М. В., Копылов И. С., Чиркова А. А. Оценка эффективности технологий очистки нефтезагрязненных грунтов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 6. С. 4–7.
3. Середин В. В., Галкин В. И., Пушкарева М. В., Лейбович Л. О., Сметанин С. Н. Вероятностно-статистическая оценка инженерно-геологических условий для специального районирования // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 42–47.
4. Лейбович Л. О., Середин В. В., Пушкарева М. В., Чиркова А. А., Копылов И. С. Экологическая оценка территорий месторождений углеводородного сырья для определения возможности размещения объектов нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 12. С. 13–16.
5. Ильина Н. А., Казакова Н. А., Фуфаева Т. В. Почвенные загрязнения антропогенного характера

и их классификация // Международный научный журнал: Инновационная наука. Уфа : НИЦ «Аэтерна», 2015. Стр. 148–149.

6. Середин В. В. Исследование степени загрязнения углеводородами грунтов территорий нефтегазовых месторождений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2014. № 12. С. 67–74. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.8.

7. Королев В. А. Очистка и восстановление геологической среды: учебное пособие. Москва : ООО Сампринт, 2019. 430 с.

8. 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. № 38. С. 15–25.

9. Добротина Е. Д., Тешебаев Ш. Б. Полевой метод комплексной оценки антропогенного загрязнения почв и грунтов на территориях автономных поселений в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 116–125.

10. Воскобойникова И. В., Кириленко А. А. Анализ почвенно-химических показателей ландшафтно-рекреационных территорий г. Ейска // Материалы X Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность региона». 2021. С. 26–30.

11. Середина В. П., Протопопов Н. Ф. Влияние

разлива серной кислоты на экологические функции почв // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 5. С. 58–62.

12. Шабанов Е. А., Простов С. М., Гуцал М. В. Метод оценки загрязнения нефтепродуктами по электрическим свойствам грунтов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 6 (112). С. 38–45.

13. 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.

14. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. Москва : Ленанд; 2014. 368 с.

15. Шабанов Е. А., Простов С. М., Вахьянов Е. М. Метод диагностирования содержания электрически контрастных загрязнителей в пробе грунта // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 4–12.

16. Шабанов Е. А., Простов С. М., Вахьянов Е. М. Исследование электропроводности пористых влагонасыщенных грунтов, загрязненных неорганическими экотоксикантами // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 4. С. 87–98.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Простов Сергей Михайлович, профессор кафедры СПиЭН, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), доктор техн. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0780-2690>, e-mail: psm.tigm@kuzstu.ru.

Шабанов Евгений Анатольевич, заведующий кафедрой СПиЭН, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2460-6467>, e-mail: shabanovea@kuzstu.ru.

Бушуев Александр Александрович, аспирант, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8422-2556>, e-mail: bushuevaa@kuzstu.ru.

Заявленный вклад авторов:

Простов Сергей Михайлович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы.

Шабанов Евгений Анатольевич – концептуализация исследования, научный менеджмент, сбор и анализ данных.

Бушуев Александр Александрович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста, подготовка графической части и таблиц.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL JUSTIFICATION OF THE METHOD OF CONTINUOUS REMOTE MONITORING OF SOIL POLLUTION PROCESSES

Sergey M. Prostov,
Evgeniy A. Shabanov,
Alexander A. Bushuev

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: bushuevaa@kuzstu.ru

**Article info**

Received:

01 April 2025

Accepted for publication:

22 September 2025

Accepted:

30 September 2025

Published:

23 October 2025

Keywords: Ecology, soil, pollution, acid, alkali, oil, oil products, electrical resistance.

Abstract.

The article provides an analysis of the state of the problem of soil pollution with ecotoxics. According to chemical and biological characteristics, all pollution is divided into four main types: inorganic, organic, radioactive, and bioorganic. The physical cause of the formation of anomalies in the specific electrical resistance (SER) in the zones of pollution with acid (alkali) solutions and oil products is theoretically substantiated. The analysis of the electrically conductive properties of sandy-clayey soils as a three-phase medium (solid particles – air – pore-filling liquid) made it possible to establish that highly conductive ecotoxics based on inorganic substances and low-conductive ones, including oil and its products, are electrically contrasting. Direct calculation of the pollution factor k_3 is complicated by the need to know the porosity and moisture content of the soil, as well as structural and textural parameters. A set of laboratory studies was conducted on soil samples artificially polluted with ecotoxics. A sample of clean soil (loam) of room dryness was mixed with a fixed amount of pollutant (solutions of H_2SO_4 acid, NaOH alkali, used motor oil) using a mixer, then placed in a measuring cell and compacted. The pollution coefficient k_3 was determined by the ratio of the masses of the ecotoxicant and soil. An approximate estimate of the k_3 value for soil samples in laboratory and natural (production) conditions, including in remote and automated modes, based on the results of electrical soundings is provided using regression dependencies for the ratio of the effective resistivity to the initial value.

For citation: Prostov S.M., Shabanov E.A., Bushuev A.A. Experimental and analytical justification of the method of continuous remote monitoring of soil pollution processes. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 5(171):101-108. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-101-108, EDN: ARNWHT

REFERENCES

1. Korolev V.A. Cleaning soils from pollution. Moscow: Science / Interperiodica; 2001. 364 p. (in Russ.)
2. Galkin V.I., Seredin V.V., Leibovich L.O., Pushkareva M.V., Kopylov I.S., Chirkova A.A. Evaluation of the efficiency of technologies for cleaning oil-contaminated soils. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2012; 6:4–7. (in Russ.)
3. Seredin V.V., Galkin V.I., Pushkareva M.V., Leibovich L.O., Smetanin S.N. Probabilistic-statistical assessment of engineering-geological conditions for special zoning. *Engineering Geology*. 2011; 4:42–47. (in Russ.)
4. Leibovich L.O., Seredin V.V., Pushkareva M.V., Chirkova A.A., Kopylov I.S. Environmental assessment of hydrocarbon deposit territories to determine the possibility of locating oil production facilities. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2012; 12:13–16. (in Russ.)
5. Ilyina N.A., Kazakova N.A., Fufaeva T.V. Soil pollution of an anthropogenic nature and their classification. *International scientific journal: Innovative science*. Ufa: Scientific Research Center «Aeterna»; 2015. Pp. 148–149. (in Russ.)
6. Seredin V.V. Research of hydrocarbons soil pollution degree in oil and gas deposits. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*. 2009; 12:67–74. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.8. (in Russ, abstract in Eng.)
7. Korolev V.A. Cleaning and Restoring the Geological Environment: A Tutorial. Moscow: OOO Samprint; 2019. 430 p. (in Russ.)
8. 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; 38:15–25. (in Eng.)

9. Dobrobotina E.D., Theshebaev Sh.B. Field method for comprehensive assessment of anthropogenic pollution of soils and grounds in the territories of autonomous settlements in the Arctic. *Problems of the Arctic and Antarctic*. 2009; 1(81):116–125. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Voskoboinikova I.V., Kirilenko A.A. Analysis of soil-chemical parameters of landscape-recreational areas of Yeisk. *Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference «Environmental Safety of the Region»*. 2021. Pp. 26–30 p. (In Russ.)

11. Seredina V.P., Protopopov N.F. Impact of sulfuric acid spill on ecological functions of soils. *News of Tomsk Polytechnic University*. 2004; 307(5):58–62. (In Russ.)

12. Shabanov E.A., Prostov S.M., Gucal M.V. Method for assessing pollution by oil products based on electrical properties of soils. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta=Bulletin*

of the Kuzbass State Technical University. 2015; 6(112):38–45. (in Russ., abstract in Eng.)

13. Prostov S.M., Shabanov E.A. 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. (in Eng.)

14. Rzhetsky V.V., Novik G.Y. *Fundamentals of Rock Physics*. Moscow: Lenand; 2014. 368 p. (In Russ.)

15. Shabanov E.A., Prostov S.M., Vahyanov E.M. Method of diagnosing the content of electrically contrasting pollutants in a soil sample. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta=Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022; 4(152):4–12. (in Russ., abstract in Eng.)

16. Shabanov E.A., Prostov S.M., Vahyanov E.M. Examination of electric conductivity of porous moisture-saturated soils contaminated with inorganic ecotoxins. *Bulletin of the Scientific Center of VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2021; (4):87–98.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Sergey M. Prostov, professor of the Department of Construction Production and Real Estate Expertise, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), Dr. Sc. In Engineering, Professor, e-mail: psm.tigm@kuzstu.ru.

Evgeniy A. Shabanov, Head of the Department of Construction Production and Real Estate Expertise, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. In Engineering, Associate Professor, e-mail: shabanovea@kuzstu.ru.

Alexander A. Bushuev, Postgraduate Student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: bushuevaa@kuzstu.ru.

Contribution of the authors:

Sergey M. Prostov – formulation of the research problem, scientific management, conceptualization of the study, data collection and analysis, conclusions.

Evgeniy A. Shabanov – research conceptualization, scientific management, data collection and analysis.

Alexander A. Bushuev – review of relevant literature, data collection and analysis, writing text, preparing graphics and tables.

All authors have read and approved the final manuscript.

