

## ГЕОФИЗИКА GEOPHYSICS

Научная статья

УДК 504.064 : 622.02

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-4-4-12

### МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ КОНТРАСТНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПРОБЕ ГРУНТА

Шабанов Евгений Анатольевич\*,  
Простов Сергей Михайлович,  
Вахьянов Евгений Михайлович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\*для корреспонденции: shabanovea@kuzstu.ru



#### Информация о статье

Поступила:

15 июля 2022 г.

Одобрена после  
рецензирования:  
30 июля 2022 г.

Принята к публикации:  
17 августа 2022 г.

#### Ключевые слова:

экология, грунт,  
электроосмос, загрязнение,  
кислота, щелочь,  
электропроводность,  
влажность, плотность,  
гранулометрический состав,  
дезактивация

#### Аннотация.

В статье рассмотрены основные виды загрязнения почв и грунтов. Обоснована особая опасность кислото- и щелочесодержащих экотоксикантов, установлены основные источники загрязнения грунтов этими веществами, в том числе при ведении горных работ. Идея предлагаемого геофизического метода диагностирования участков загрязнения состоит в том, что токсичное вещество, заполняющее поры грунта, изменяет его электропроводящие свойства, образованная таким образом аномальная зона может быть обнаружена известными бесскважинными методами электроразведки. Дан анализ классических зависимостей удельного электросопротивления трехфазной среды с учетом реальных диапазонов структурно-текстурных параметров песчано-глинистых грунтов Кузбасса. Приведены теоретические зависимости перехода от электропроводящих свойств грунта к содержанию в порах загрязнителей – растворов кислот и щелочей. Рассмотрены основные результаты эксперимента по определению электросопротивления образца грунта при увеличении концентрации загрязнения раствором кислот и щелочей. Проведены статистическая обработка полученных в результате эксперимента результатов и сравнение их с полученным по теоретическим зависимостям коэффициентом загрязнения. Подтверждена эффективность использования метода оперативного мониторинга загрязнения грунтов по электропроводящим свойствам. Получены регрессионные зависимости для экспресс-прогноза. Установлены рациональные диапазоны электрофизического мониторинга зон загрязнения грунтов неорганическими экотоксикантами.

**Для цитирования:** 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. doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-4-12

В настоящее время вопросам экологии уделяется особое внимание, так как возросла нагрузка на окружающую среду в результате интенсивного антропогенного воздействия различных отраслей промышленности [1-3]. В промышленно развитых регионах Российской Федерации особо остро стоит вопрос загрязнения почвы и грунтов. Наибольшее влияние на

нарушение биологического баланса почвы оказывает химическое загрязнение. Его основные источники – промышленность, сельское хозяйство и транспорт [4-6]. Воздействие этих отраслей человеческой деятельности может привести к усталости почвы, снижению ее плодородия. Химические загрязнители грунтов в результате промышленной деятельности могут проникать через сельскохозяйственные культуры, а затем попадать в организмы животных и людей. Они также могут оказывать прямое влияние на загрязнение поверхностных и подземных вод в результате вымывания вредных веществ из грунтов.

В качестве загрязнителей грунтов могут быть представлены нефть и нефтепродукты, тяжелые металлы, радиоактивные вещества, кислоты и щелочи и др. Каждый из этих видов загрязнений по-разному воздействует на грунты, но все они прямо или косвенно являются опасными для человека. Особенно опасными загрязнителями являются кислотные и щелочные, которые попадают в грунт как при выпадении кислотных осадков, так и при добыче полезных ископаемых [7-9]. Кислотные дожди, как правило, образуются при попадании в атмосферные слои токсичных соединений, сажи, оксидов серы, опасных летучих соединений от производственных объектов [10-12]. Здесь они вступают в химическую реакцию с углекислотой, водой и солнечной радиацией, образуя молекулы кислоты. В верхних слоях атмосферы из мельчайших капель воды и кислоты образуются облака, в виде осадков они выпадают на землю. При добыче полезных ископаемых зачастую применяются методы выщелачивания и гидроразрыва пластов, которые сопровождаются значительными утечками. Отходы обогащения также содержат неорганические компоненты. В производственных процессах различных отраслей активно применяются щелочи и кислоты в качестве электролита аккумуляторов.

Каждый вид загрязнений обладает различными свойствами, поэтому для определения степени загрязнения тем или иным видом вещества имеются свои методы, которые, как правило, в традиционной форме сводятся к извлечению образцов грунта и исследованию в лабораторных условиях. Разработанный ранее метод оперативного мониторинга загрязнения грунтов [13-15] по изменению электропроводящих свойств в наибольшей степени применим к электрически контрастным загрязнителям, которые проявляют ярко выраженные диэлектрические свойства (нефть и нефтепродукты), также он может быть применим для загрязнителей с низким электрическим сопротивлением, такими свойствами обладают растворы кислот, щелочей и их солей.

Для исследования свойств щелочных и кислотных загрязнений в грунте были проведены эксперименты с пробами и апробация теоретических зависимостей.

Основная физическая предпосылка метода контроля состоит в том, что все кислоты и щелочи (электролит в аккумуляторе и т.д.) проявляют электрическую контрастность, обладают относительно низким электрическим сопротивлением. Эффективное удельное электросопротивление ( $УЭС$ ) данных жидкостей в зависимости от концентрации изменяется в диапазоне  $\rho = 0,01-1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , в то время как для природных минеральных растворов этот диапазон составляет  $\rho = 1-100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

$УЭС$  влагонасыщенной горной породы, которая представляет собой трехфазную среду, определяется с помощью классической эмпирической зависимости

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

где  $m$  – пористость (поровая пустотность);  $W$  – коэффициент влагонасыщения пространства пор и трещин;  $\rho_v$  –  $УЭС$  раствора, заполняющего поровое пространство,  $\text{Ом}\cdot\text{м}$ ;  $K_n$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – эмпирические параметры, зависящие от структурно-текстурных особенностей исследуемых грунтов (пород);  $K_n$  – параметр, учитывающий поверхностную проводимость глинистого микрослоя на поверхности пор;  $\alpha$  – параметр, зависящий от типа геологического отложения;  $\beta$  – параметр, определяемый структурой порового пространства (в основном извилистостью каналов);  $\gamma$  – параметр, зависящий от смачиваемости раствором поверхности пор.

Величина параметров  $K_n$  и  $\alpha$  для угленосных и углевещающих отложений одного типа может быть принята равной 1. Параметр  $\beta$  зависит от структуры порового пространства и для уплотненных несвязных грунтов изменяется в диапазоне  $\beta = 1,3-2,2$ ; параметр  $\gamma$  определяется

степенью смачиваемости поверхности твердой фазы и изменяется в диапазоне  $\gamma = 1,8-3,5$ .

Для оценки содержания загрязнителя в поровой жидкости целесообразно использовать теоретическую зависимость гармонического средневзвешенного для двухкомпонентной среды, что позволит с большой достоверностью рассчитать искомую величину:

$$\frac{1}{\rho_B} = \frac{V_3}{\rho_3} + \frac{V_n}{\rho_n} = \frac{V_3}{\rho_3} + \frac{1 - V_3}{\rho_n} = \frac{V_3 \cdot \rho_n + \rho_3 - V_3 \cdot \rho_3}{\rho_3 \cdot \rho_n}, \quad (2)$$

где  $V_3, V_n$  – соответственно, объемные доли загрязнителя и природной влаги в заполнителе пор;  $\rho_3, \rho_n$  – соответственно, УЭС загрязнителя и природной влаги.

Путем подстановки уравнения (2) в (1) и преобразований можно получить следующее выражение:

$$V_3 = \frac{\frac{\alpha K_n \rho_3 \rho_n}{\rho_k n m^{\beta} W^{\gamma}} - \rho_3}{\rho_n - \rho_3}. \quad (3)$$

При условии электрической контрастности загрязнителя ( $\rho_n \gg \rho_3$ ) и с учетом  $\alpha \approx K_n \approx 1$ : для приближенной экспресс-оценки можно использовать выражение

$$V_3 \approx \frac{\rho_3}{\rho_k m^{\beta} W^{\gamma}}. \quad (4)$$

Для количественной оценки степени насыщения загрязнителем порового пространства грунтового массива введен коэффициент загрязнения грунта  $k_3$ :

$$k_3 = m \cdot V_3, \quad (5)$$

Для проверки теоретических зависимостей, использованных при расчете коэффициента загрязнения  $k_3$ , был проведен эксперимент на образцах искусственно загрязненных грунтов.

Образцы загрязненного грунта получали путем смешивания миксером чистого грунта с фиксированным количеством кислоты и щелочи. Для искусственно загрязненных образцов грунта в ходе эксперимента определяли влажность, УЭС грунта  $\rho_k$ , электролита  $\rho_3$  и поровой жидкости  $\rho_n$ , а также коэффициент загрязнения грунта  $k_3$  с помощью специально разработанного

Таблица 1. Физико-технические характеристики грунта в опытных образцах, смешанных с кислотой (масса образца грунта – 441,2 г; масса воды в образце – 90,3 г)

Характеристика	№ образца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Масса кислоты, г	0	4,4	13,236	17,65	26,5	35,3	44,12	66,18	77,21	88,24	108,094
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1	1,005	1,017	1,025	1,038	1,052	1,066	1,1	1,12	1,14	1,175
УЭС грунта, $\rho_k$ , Ом·м	320	52	23	17	12	5,2	2,8	0,64	0,52	0,42	0,34
$k_3$ , %	0	1	3	4	6	8	10	15	17,5	20	24,5

Таблица 2. Физико-технические характеристики грунта в опытных образцах, смешанных со щелочью (масса образца грунта – 450 г; масса воды в образце – 94 г)

Характеристика	№ образца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Масса щелочи, г	0	4,488	9,01	17,986	26,996	35,972	45,016	53,992	67,49	90	112,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1	1,009	1,02	1,043	1,065	1,087	1,109	1,13	1,164	1,17	1,19
УЭС грунта, $\rho_k$ , Ом·м	320	1,60	1,80	0,94	0,85	0,68	0,60	0,58	0,52	0,40	0,31
$k_3$ , %	0	1	2	4	6	8	10	12	15	20	25

программного комплекса, обеспечивающего циклический подбор оптимальных значений постоянных  $\beta$  и  $\gamma$  [16].

В таблице 1 и таблице 2 приведены исходные данные проведения эксперимента и полученные значения УЭС.

При проведении эксперимента были получены результаты измерений УЭС грунта при равномерном повышении количества загрязнителя, что позволило сравнить полученные результаты определения коэффициента загрязнения по теоретическим зависимостям от УЭС со значениями фактического коэффициента загрязнения. В графическом виде результаты экспериментов представлены на рис. 1.

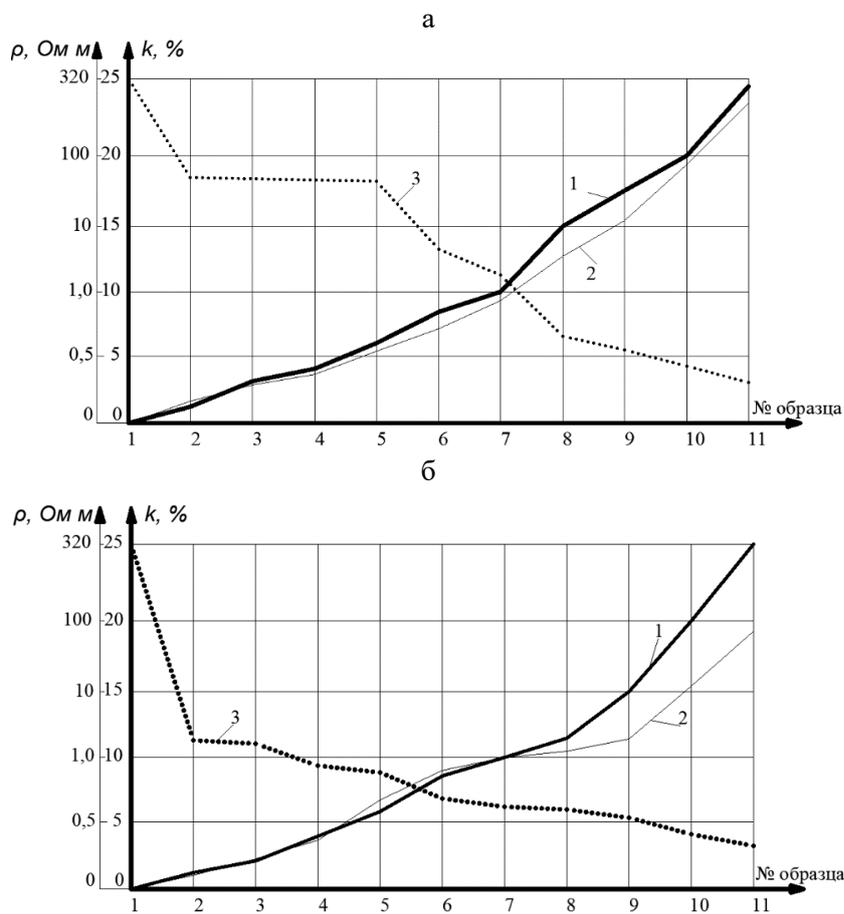


Рис. 1. Результаты экспериментального определения и программного расчета коэффициента загрязнения в образцах грунта с кислотой (а) и щелочью (б): 1 – коэффициент  $k_s$ , полученный экспериментальным путем; 2 – расчетный коэффициент; 3 – УЭС  $\rho_k$  грунта в образцах

Fig. 1. Results of experimental determination and software calculation of the pollution coefficient in soil samples with acid (a) and alkali (b): 1 – coefficient  $k_s$ , obtained experimentally; 2 – the calculated coefficient; 3 – the resistance  $\rho_k$  of the soil in the samples

В результате проведенного эксперимента установлено, что при увеличении концентрации загрязнения в грунте как щелочи, так и кислоты наблюдается уменьшение электросопротивления, это обусловлено тем, что УЭС раствора кислоты и щелочи на порядок ниже, чем у природного водного раствора, т. е. растворы щелочи и кислоты являются электрически контрастными экотоксикантами.

Из графиков на рис. 1 видно, что коэффициент загрязнения, определенный через теоретические зависимости по измеренному УЭС, соответствует фактическому с отклонениями в пределах 5 % при коэффициенте загрязнения до 10 %. При большем загрязнении погрешность определения возрастает.

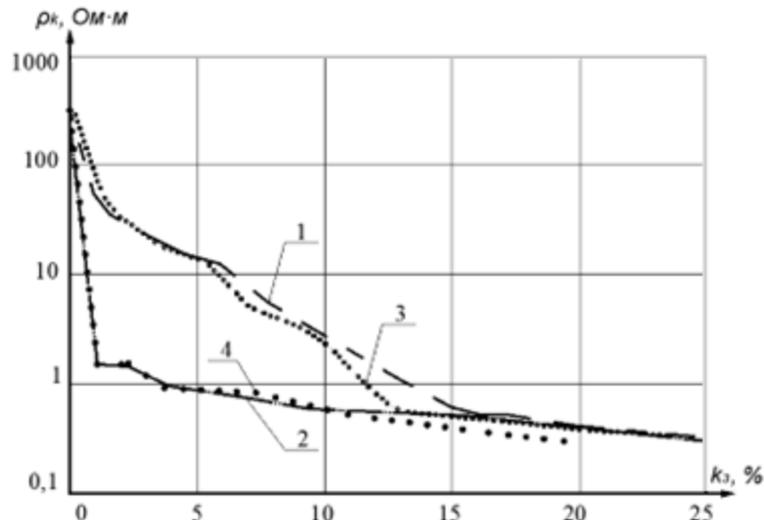


Рис. 2. Зависимость УЭС от коэффициента загрязнения: 1 – загрязнение кислотой фактическое; 2 – загрязнение щелочью фактическое; 3 – загрязнение кислотой расчетное; 4 – загрязнение щелочью расчетное

Fig. 2. Dependence of the UES on the pollution coefficient: 1 – actual acid pollution; 2 – actual alkali pollution; 3 – calculated acid pollution; 4 – calculated alkali pollution

В координатах  $\rho_k = \rho_n (V_3)$  результаты эксперимента представлены на рис. 2.

Для геофизического экспресс-прогноза можно подобрать регрессионную зависимость, достаточно точно описывающую характер изменения коэффициента загрязнения  $k_3$  по мере увеличения концентрации загрязнителя в грунте и соответствующего относительного уменьшения УЭС  $\rho_k$ . В табл. 3, 4 и на рис. 3 приведены результаты статистической обработки – уравнения регрессии и соответствующие расчетные показатели: корреляционное отношение (коэффициент корреляции)  $R$ ; критерий Фишера,  $F$ ; критическое значение критерия Фишера,  $F_{кр}$ . Наибольшую точность как для загрязнения раствором кислоты, так и для загрязнения раствором щелочи обеспечивает степенная зависимость ( $R_{щел} = 0,9822$ ,  $R_{кис} = 0,9186$ ).

По результатам проведенного исследования установлено, что при увеличении концентрации загрязнения грунта растворами кислот и щелочей происходит монотонное снижение величины УЭС, при этом по теоретическим зависимостям расчетная величина  $k_3$  определена с

Таблица 3. Зависимость коэффициента загрязнения кислотой  $k_3$  от относительного изменения УЭС грунта в образце

Уравнение	Критерий Фишера		
	$R$	$F_{кр}$	$F$
1. Степенная $k = 67,628 \left( \frac{\rho_k}{\rho_{k0}} \right)^{-1,55}$	0,9186	5,12	101,57
2. Экспоненциальная $k = 61,451e^{-0,27 \frac{\rho_k}{\rho_{k0}}}$	0,8647	5,12	57,52

\*  $\rho_{k0}$  – УЭС незагрязненного грунта

Таблица 4. Зависимость коэффициента загрязнения щелочью  $k_3$  от относительного изменения УЭС грунта в образце

Уравнение	Критерий Фишера		
	$R$	$F_{кр}$	$F$
1. Степенная $k = 3,549 \left( \frac{\rho_k}{\rho_{k0}} \right)^{-0,824}$	0,9822	5,12	496,62
2. Экспоненциальная $k = 7,014e^{-0,212 \frac{\rho_k}{\rho_{k0}}}$	0,4496	5,12	7,35

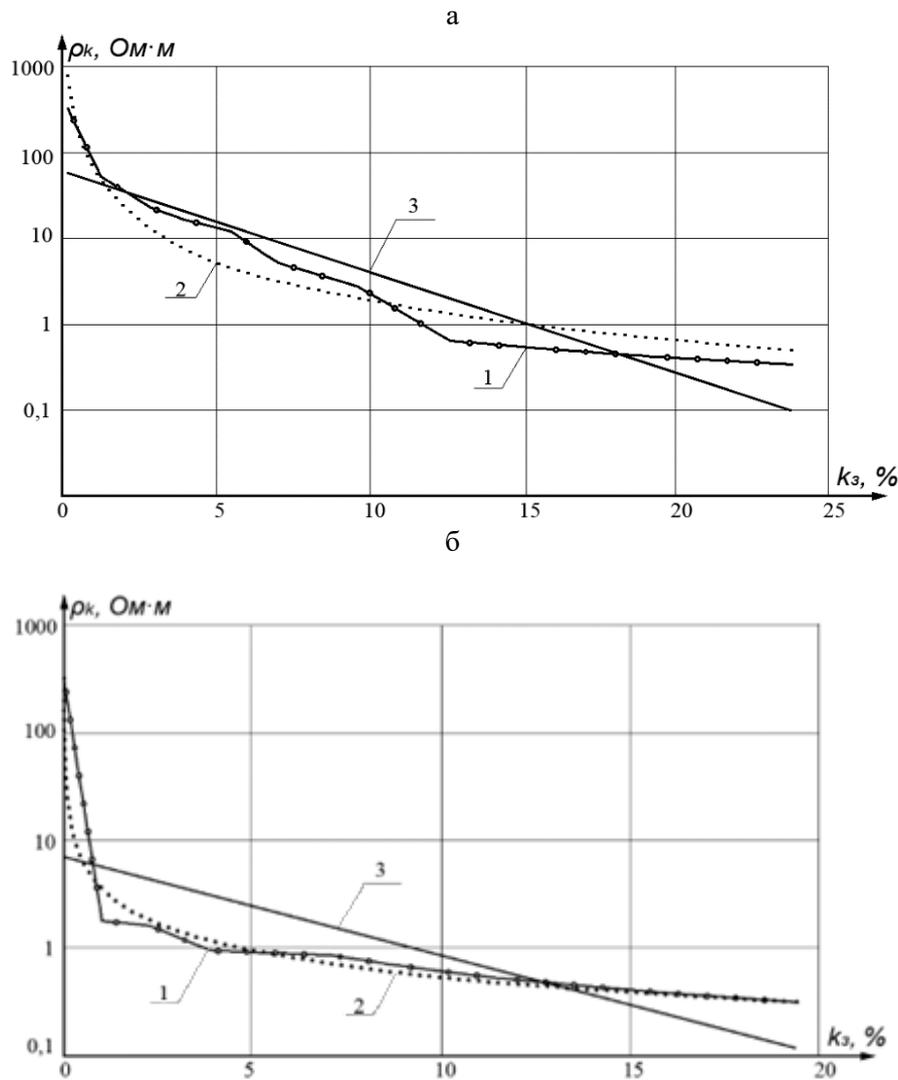


Рис. 3. Результаты статистической обработки экспериментальной зависимости коэффициента загрязнения от соотношения УЭС  $\rho_k/\rho_{k0}$  грунта в образце, загрязненном кислотой (а) и щелочью (б): 1 – расчетная зависимость; 2 – степенная; 3 – экспоненциальная

Fig. 3. Results of statistical processing of the experimental dependence of the pollution coefficient on the ratio of electrical resistances  $\rho_k/\rho_{k0}$  of the soil in the sample contaminated with acid (a) and alkali (b): 1 – calculated dependence; 2 – power-law; 3 – exponential

погрешностью менее 5% при  $k_z < 10\%$ , и 15% при  $k_z < 25\%$ .

При  $k_z > 25\%$  образец грунта переходил из связанного состояния в пластичную несвязную суспензию, вследствие чего величина  $\rho_k$  и погрешность прогноза резко возрастала.

Результаты лабораторного эксперимента позволили установить следующее:

- метод электросопротивлений эффективен для оперативной оценки степени загрязнения грунта кислотами и щелочью при их содержании до 25%, после чего происходит разрушение структурных связей грунта;

- для расчета коэффициента загрязнения  $k_z$  целесообразно использовать классические эмпирические зависимости электроразведки для УЭС трехфазной среды, реализованные в форме циклических алгоритмов путем оптимизации основных структурных параметров и их корректирования для области фазового перехода.

- для приближенной экспресс-оценки степени загрязнения щелочью и кислотами наиболее подходящей является степенная зависимость  $k_z$  от величины относительного УЭС.

*Исследование проведено в рамках гранта МК-826.2022.1.5 «Диагностирование пространственно-временных вариаций физических свойств зон загрязнения грунтов электрически контрастными экотоксикантами».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Strelnikova Ju. Yu. Psychological consequences of anthropogenic and natural emergencies impact on the employees of extreme profile professions // In the World of Scientific Discoveries, Series A. 2015. Т. 3. № 2. С. 155-167.
2. Popova A., Popova V. Change of quercus robur l. Acorns seedlings cytogenetic parameters under anthropogenic impact // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Forestry Forum "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions". 2020. С. 012047.
3. 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. Т. 38. С. 15-25.
4. Turkov S. L. Information support for strategic management processes' in geocology and agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. С. 012042.
5. Kolomyts E. G. Introduction to experimental geocology: results of a scientific inquiry // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018. Т. 88. № 6. С. 482-493.
6. Lopatin D. V., Zhiron A. I. Morphological systematics of the relief and its implications for geography and geocology // Geography and Natural Resources. 2017. Т. 38. № 1. С. 30-37.
7. Solovitskiy A., Brel O., Nikulin N., Nastavko E., Meser T. Land resource management as the ground for mining area sustainable development // E3S Web of Conferences. The Second International Innovative Mining Symposium. 2017.
8. Solovitskiy A., Brel O., Saytseva A., Kaizer Ph. Land-and-ecological problems of Kuzbass mineral resources development // E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition. 2018.
9. Chuncai Z., Guijian L., Ting F., Ruoyu S., Dun W. Leaching characteristic and environmental implication of rejection rocks from huainan coalfield, Anhui province, China // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Т. 143. С. 54-61.
10. Malitch K. N., Latypov R. M. Cu-isotope systematics of magmatic ni-cu-pge sulfide ores from the talnakh and kharaelakh intrusions, Noril'sk province (Russia) // Mineralogical Magazine. 2012. Т. 76. № 6. С. 2061.
11. Xu X., Li Y., Wang D., Xu N. Effects of simulated acid rain on the photosynthetic physiological characteristics in ulva fasciata under salt stress // Journal of Fisheries of China. 2016. Т. 40. № 5. С. 731-739.
12. Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu., Lavrishchev A. V., Bure V. M., Salnjikov E. Dynamics of soil ph after utilization of byproducts of industrial rock processing as a calcareous material in acid soils // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2021. Т. 52. № 2. С. 93-101.
13. Prostov S., Shabanov E. Diagnostics of oil pollution zones by electro-physical method // E3S Web of Conferences. The Second International Innovative Mining Symposium. 2017. С. 02007.
14. Prostov S., Shabanov E. Geological-and-geophysical monitoring of electrochemical cleaning of soil from petroleum pollution // E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition. 2018. С. 02002.
15. Prostov S. M., Gucal M. B., Shabanov E. F. Physical basis of the controlled electrochemical treatment of soils from oil products // Chinese Coal in the XXI Century: Mining, Green and Safety. Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. 2014. С. 433-440.

© 2022 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:*

**Шабанов Евгений Анатольевич**, заведующий кафедрой СПиЭН, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, shabanovea@kuzstu.ru

**Простов Сергей Михайлович**, профессор кафедры СПиЭН, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), доктор техн. наук, psm.tigm@kuzstu.ru

**Вахьянов Евгений Михайлович**, ст. преподаватель кафедры АДигК,

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), vem.ad@kuzstu.ru

*Заявленный вклад авторов:*

Шабанов Е.А. – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Простов С.М. – научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных.

Вахьянов Е.М. – обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

### METHOD OF DIAGNOSING THE CONTENT OF ELECTRICALLY CONTRASTING POLLUTANTS IN A SOIL SAMPLE

**Evgeniy A. Shabanov,  
Sergey M. Prostov,  
Evgeniy M. Vahyanov**

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\*for correspondence: shabanovea@kuzstu.ru



#### Article info

Submitted:  
15 July 2022

Approved after reviewing:  
30 July 2022

Accepted for publication:  
17 August 2022

**Keywords:** ecology, soil, electroosmosis, pollution, acid, alkali, electrical resistance, humidity, density, granulometric composition, decontamination

#### Abstract.

*The article discusses the main types of soil pollution. The special danger of acid- and alkali-containing ecotoxicants has been substantiated, the main sources of soil contamination with these substances have been identified, including during mining operations. The idea of the proposed geophysical method for diagnosing contamination sites is that a toxic substance filling the pores of the soil changes its electrically conductive properties, the anomalous zone formed in this way can be detected by known wellless methods of electrical exploration. The analysis of the classical dependences of the electrical resistivity of a three-phase medium is given, taking into account the real ranges of structural and textural parameters of sandy-clay soils of Kuzbass. The theoretical dependences of the transition from the electrically conductive properties of the soil to the presence of pollutants - solutions of acids and alkalis - in the pores are given. The main results of the experiment on the determination of the electrical resistance of a soil sample with an increase in the concentration of contamination with a solution of acids and alkalis are considered. Statistical processing of the results obtained as a result of the experiment and comparison of the results of the experiment with the pollution coefficient obtained according to theoretical dependencies was carried out. The effectiveness of using the method of operational monitoring of soil pollution by its electrically conductive properties has been confirmed. Regression dependencies for the express forecast are obtained. Rational ranges of electrophysical monitoring of soil contamination zones with inorganic ecotoxicants have been established.*

**For citation:** 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.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-4-12

## REFERENCES

1. Strelnikova Ju. Yu. Psychological consequences of anthropogenic and natural emergencies impact on the employees of extreme profile professions // In the World of Scientific Discoveries, Series A. 2015; 3(2):155-167.

2. Popova A., Popova V. Change of quercus robur l. Acorns seedlings cytogenetic parameters under anthropogenic impact. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Forestry Forum "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions"*. 2020. 012047.
3. 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.
4. Turkov S.L. Information support for strategic management processes' in geoecology and agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 012042.
5. Kolomyts E.G. Introduction to experimental geoecology: results of a scientific inquiry. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2018; 88(6):482-493.
6. Lopatin D.V., Zhirov A.I. Morphological systematics of the relief and its implications for geography and geoecology. *Geography and Natural Resources*. 2017; 38(1): 30-37.
7. Solovitskiy A., Brel O., Nikulin N., Nastavko E., Meser T. Land resource management as the ground for mining area sustainable development. *E3S Web of Conferences. The Second International Innovative Mining Symposium*. 2017.
8. Solovitskiy A., Brel O., Saytseva A., Kaizer Ph. Land-and-ecological problems of Kuzbass mineral resources development. *E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition*. 2018.
9. Chuncai Z., Guijian L., Ting F., Ruoyu S., Dun W. Leaching characteristic and environmental implication of rejection rocks from huainan coalfield, anhui province, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014; 143:54-61.
10. Malitch K.N., Latypov R.M. Cu-isotope systematics of magmatic ni-cu-pge sulfide ores from the talnakh and kharaelakh intrusions, Noril'sk province (Russia). *Mineralogical Magazine*. 2012; 76(6):2061.
11. Xu X., Li Y., Wang D., Xu N. Effects of simulated acid rain on the photosynthetic physiological characteristics in ulva fasciata under salt stress. *Journal of Fisheries of China*. 2016; 40(5): 731-739.
12. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V., Bure V.M., Salnjikov E. Dynamics of soil ph after utilization of byproducts of industrial rock processing as a calcareous material in acid soils; *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2021; 52(2):93-101.
13. Prostov S., Shabanov E. Diagnostics of oil pollution zones by electro-physical method. *E3S Web of Conferences. The Second International Innovative Mining Symposium*. 2017. 02007.
14. Prostov S., Shabanov E. Geological-and-geophysical monitoring of electrochemical cleaning of soil from petroleum pollution. *E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition*. 2018. 02002.
15. Prostov S.M., Gucal M.B., Shabanov E.F. Physical basis of the controlled electrochemical treatment of soils from oil products. *Chinese Coal in the XXI Century: Mining, Green and Safety. Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control*. 2014. 433-440.

© 2022 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:*

**Evgeniy A. Shabanov**, Head of the department of SPiEN, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. in Engineering, shabanovea@kuzstu.ru

**Sergey M. Prostov**, Professor of the department, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), Dr. Sc. in Engineering, Professor, e-mail: psm.tigm@kuzstu.ru

**Evgeniy M. Vahyanov**, Senior Lecturer, of the department of ADiGK, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), vem.ad@kuzstu.ru

*Contribution of the authors:*

Evgeniy A. Shabanov - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text.

Sergey M. Prostov - research problem statement; scientific management; data collection; data analysis;

Evgeniy M. Vahyanov - reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions;

*All authors have read and approved the final manuscript.*

