

Научная статья

УДК 504.064; 614.76; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-84-94

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СИЛЫ СВЯЗИ МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНИТОРИНГА АВАРИЙНОГО НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ СКРИНИНГОВЫМИ МЕТОДАМИ

Зайкин Руслан Григорьевич;

✉ **Королева Людмила Анатольевна.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Петров Юрий Сергеевич.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия

✉ koroleva.l@igps.ru

Аннотация. Рассмотрены крупные аварии на предприятиях нефтегазовой отрасли, связанные с загрязнением почв нефтепродуктами. На основании анализа научных исследований определено, что существующие методы оценки содержания нефтепродуктов в почве имеют ряд существенных ограничений. Их преодоление требует организации системы мониторинга почв, отличающейся возможностью экспрессного определения загрязнителей и выделения четких границ допустимого содержания нефти и нефтепродуктов. Экспериментально обосновано применение арбитражного метода инфракрасной спектроскопии и метода молекулярной люминесценции для оценки содержания нефтепродуктов в почве. Проведен корреляционный анализ между результатами измерений, полученных с помощью двух представленных методов. Установлено, что при низких значениях концентраций нефтепродуктов в почвах существует линейная зависимость с очень высокой силой связи, характеризующейся коэффициентом корреляции Пирсона, равным 0,93. При относительно высоких значениях содержания нефтепродуктов в почве, значительном разбросе полученных экспериментальных данных целесообразно применять ранговую корреляцию. Использование выявленных зависимостей позволяет сформировать достаточно полную картину об обстановке, сложившейся на исследуемой территории, связанной с загрязнением почвы нефтепродуктами, основываясь на результатах, полученных с помощью одного из представленных скрининговых методов. Это значительно упрощает процедуру проведения оценки состояния почвенного покрова и создает предпосылки для снижения времени принятия решений и увеличения оперативности реагирования на возникающие чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: разлив нефтепродуктов, почва, чрезвычайная ситуация, коэффициент корреляции, сила связи, ранг, инфракрасная спектроскопия, молекулярная люминесценция, углеводороды

Для цитирования: Зайкин Р.Г., Королева Л.А., Петров Ю.С. Корреляционный анализ силы связи между результатами мониторинга аварийного нефтяного загрязнения почв скрининговыми методами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 2 (70). С. 84–94. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-84-94.

Scientific article

CORRELATION ANALYSIS OF THE STRENGTH OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE RESULTS OF MONITORING OF ACCIDENTAL OIL POLLUTION OF SOILS BY SCREENING METHODS

Zaykin Ruslan G.;✉ **Koroleva Ludmila A.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.****Petrov Yuriy S.****North caucasus mining and metallurgical institute (State technological university),****Vladikavkaz, Russia**✉ ***koroleva.l@igps.ru***

Abstract. Major accidents at oil and gas industry enterprises related to soil contamination with petroleum products are considered. Based on the analysis of scientific research, it was determined that the existing methods for assessing the content of petroleum products in the soil have a number of significant limitations. Overcoming them requires the organization of a soil monitoring system, characterized by the possibility of rapid determination of pollutants and the allocation of clear boundaries of the permissible content of oil and petroleum products. The use of the arbitration method of infrared spectroscopy and the molecular luminescence method for estimating the content of petroleum products in the soil is experimentally justified. A correlation analysis was carried out between the measurement results obtained using the two presented methods. It was found that at low concentrations of petroleum products in soils, there is a linear dependence with a very high binding force, characterized by a Pearson correlation coefficient of 0,93. With relatively high values of the content of petroleum products in the soil and a significant spread of the experimental data obtained, it is advisable to use rank correlation. The use of the identified dependencies allows us to form a fairly complete picture of the situation in the study area associated with soil contamination with petroleum products, based on the results obtained using one of the presented screening methods. This greatly simplifies the procedure for assessing the state of the soil cover and creates prerequisites for reducing decision-making time and increasing the responsiveness to emerging emergencies.

Keywords: oil spill, soil, emergency, correlation, power of correlation, rank, infrared spectroscopy, molecular luminescence, hydrocarbons

For citation: Zaykin R.G., Koroleva L.A., Petrov Yu.S. Correlation analysis of the strength of the relationship between the results of monitoring of accidental oil pollution of soils by screening methods // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 2 (70). P. 84–94. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-84-94.

Введение

Чрезвычайные ситуации (ЧС), связанные с загрязнением нефтью и нефтепродуктами (НП) наземных экосистем, в настоящее время являются серьезной проблемой. НП попадают в почву при разведке нефти, ее добыче, переработке, транспортировке и хранении [1]. По итогам 2023 г. можно выделить несколько самых крупных аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли Российской Федерации. В январе в Енисейском р-не на складе произошел разлив 15 т дизельного топлива по причине неисправности, установленной на емкости для хранения запорной арматуры. Также в январе при разгерметизации магистрального трубопровода в Омской обл. в почву попало 60 м³ нефти. Общая площадь

загрязнения составила 615 м². В июле в Республике Коми вследствие отказа трубопровода на Южно-Ошском месторождении произошел разлив нефти, около 1 000 м³ которой оказались в почве и в реке. В сентябре в Татарстане произошло два разлива общей площадью примерно 500 м². Причиной первого стал выпуск технологической жидкости при обрыве штока скважины на территории цеха добычи (рис. 1). Второй разлив был обусловлен разгерметизацией насосной линии.



Рис. 1. Разлив нефти в Татарстане
(<https://eco.tatarstan.ru/index.htm/news/2232795.htm>)

Трагедия в г. Махачкале в августе унесла жизни 37 чел. Первоначально загорелся склад автосервиса, где хранилось около 100 т селитры. Затем пожар распространился на автозаправочную станцию (АЗС), на которой детонировали две из восьми цистерн с топливом. Общая площадь пожара составила 600 м², мощность взрыва – около 35 т в тротиловом эквиваленте. В результате были повреждены 40 частных домов и гостиница, а автосервис и АЗС были уничтожены. В Кумторкалинском р-не Дагестана введен режим ЧС.

Следует отметить, что аварийные разливы НП достаточно часто остаются без должного внимания. Существующие методы анализа НП в почве имеют ряд существенных ограничений, основными из которых являются трудности, связанные с установлением фонового содержания органических веществ в почве, оперативным получением результатов, необходимостью обеспечения сложным экспериментальным оборудованием. Исследования должны проводиться высококвалифицированными специалистами. Необходимость преодоления указанных ограничений требует организации системы мониторинга почв с возможностью экспрессного определения загрязнителей и выделением четких границ допустимого содержания нефти и НП [2–6].

В работах [2–4, 6] обосновано, что задача нормирования нефти и НП в почве может быть решена только на локальном уровне. Причины связаны с большим разнообразием почв, длительностью периода накопления загрязнителей; ограниченностью масштабов взаимного перехода химических соединений между почвами; постоянным обменом веществом с другими компонентами природной среды; депонирующими способностями почвы, значительно влияющими на изменение содержания загрязняющих веществ в контактирующих с ней средах.

Актуальным в решении вопросов обеспечения безопасности при ЧС является изучение состояния почвенного покрова. При разработке принципов нормирования значительное внимание необходимо уделить методам анализа содержания НП в почве. Проведение

массовых анализов с использованием методов математической статистики для их обработки определяется как важное направление [2, 4].

Целью настоящей работы является проведение корреляционного анализа силы связи между результатами изучения нефтяного загрязнения почв двумя экспрессными скрининговыми методами, применение которых позволит оперативно получать достоверную информацию о состоянии почвенного покрова и своевременно реагировать на возникновение и развитие ЧС.

Материалы и методы

Принципиальным путем выделения техногенного загрязнения из общей суммы органических компонентов и количественного определения содержания НП в почве является система скрининговых аналитических методов [2].

В работе применены скрининговые методы анализа НП в почвах: арбитражный метод инфракрасной спектроскопии (ИКС) и метод люминесцентной спектроскопии (ЛЮМ). Методики проведения экспериментов подробно изложены в ПНД Ф 16.1:2.2.22–98 (Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии) и ПНД Ф 16.1:2.21–98 (Методика выполнения измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат 02» (М 03-03–2012) [7, 8].

В качестве объекта исследовали 52 образца почв, отобранных в районе разведочной скважины Мусюршорского нефтяного месторождения, расположенного в Архангельской обл. Выбор объекта исследования связан с обоснованностью нормирования содержания нефтепродуктов в почве на локальном уровне, без затрагивания вопросов глобального и регионального нормирования [2, 4]. Такой подход позволяет учитывать разнообразие почв, их территориальные особенности, определять фоновое содержание органических веществ в почве. Измеренные концентрации НП не выходили за пределы обнаружения методов [7, 8].

Аналитические определения проводились двумя методами, независимо, с использованием одних и тех же почвенных экстрактов. Для установления тесноты корреляционных связей между результатами, использовали коэффициент корреляции Пирсона (r) и коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ) (табл. 1), применение которых для решения поставленных задач обосновано в работах [9, 10].

Таблица 1

Условия применения коэффициентов корреляции

Условия применения	Коэффициент корреляции	
	r	ρ
Вид критерия	Параметрический статистический критерий	Ранговый критерий
Значения, используемые для проведения расчета	Переменные являются непрерывными количественными данными	Данные одной из выборок могут быть представлены в порядковой шкале, данные второй выборки должны быть количественными
Исследование на нормальность	Количественные данные должны подчиняться нормальному закону распределения	Может применяться для выборок, не подчиняющихся нормальному закону распределения
Характер связи между исследуемыми параметрами	Линейная связь	Требования к линейности связи отсутствуют
Условие гомоскедастичности	Должно соблюдаться	Может не соблюдаться

Условия применения	Коэффициент корреляции	
	r	ρ
Парность наблюдений	Наблюдения должны быть парными	
Объем выборки	Более 25 наблюдений	Более 5 наблюдений
Ограничения метода	Сильная чувствительность к выбросам. Присутствие в выборке даже одного выброса значительно снижает значение коэффициента	Точность снижается при наличии большого количества одинаковых рангов по одной или обоим сопоставляемым переменным

Для оценки тесноты связи применяли шкалу Чеддока [9, 10], представленную в табл. 2.

Таблица 2

Шкала Чеддока для оценки силы (тесноты) связи

Абсолютное значение коэффициента корреляции	Теснота (сила) корреляционной связи
менее 0,3	слабая
от 0,3 до 0,5	умеренная
от 0,5 до 0,7	заметная
от 0,7 до 0,9	высокая
более 0,9	очень высокая

Расчет коэффициента корреляции Пирсона подробно рассмотрен в статье [2].

Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена производился в следующей последовательности:

1. Сопоставление каждому из полученных значений концентрации НП в почве его порядкового номера (ранга) по возрастанию или убыванию.
2. Для каждой пары сопоставляемых значений расчет разности рангов (d).
3. Возведение в квадрат каждой разности и суммирование полученных значений.
4. Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена по формуле:

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (1)$$

где n – количество ранжируемых пар.

5. Оценка статистической значимости ρ с помощью t-критерия Стьюдента:

$$t = \frac{\rho \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}}. \quad (2)$$

Результаты и их обсуждение

Скрининговые аналитические методы являются альтернативным направлением проведению детального анализа отобранных проб (рис. 2).

Детальный анализ с выявлением индивидуальных компонентов и установление их количественных соотношений	Достоинства Точность полученных результатов; возможность индивидуализации компонентов
	Недостатки Необходимы данные о фоновых значениях содержания органических компонентов в почвах; требуется проводить исследования на молекулярном уровне; значительные приборно-аналитические и временные затраты; отсутствуют возможности проведения анализов в полевых условиях, необходимо размещать оборудование в стационарных лабораториях
Массовые анализы с использованием для их обработки методов математической статистики	Достоинства Позволяют определить суммарную интегральную характеристику содержания НП, выделяя зоны с различным уровнем загрязнения; быстрое массовое определение содержания НП повышает оперативность оценки степени загрязнения; позволяют определять валовое количество загрязнителей в природной среде, оценивать экологический ущерб
	Недостатки Не позволяют проводить анализ индивидуального состава НП; требует проведения большого количества экспериментов

Рис. 2. Сравнительный анализ методов количественной оценки содержания НП в почве

Характеристика выбранных скрининговых методов анализа нефтяного загрязнения почв представлена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика скрининговых методов анализа нефтепродуктов в почвах

Метод	Сущность метода	Область применения
ИКС	Экстракция из почв органических соединений четыреххлористым углеродом, хроматографическое отделение от них НП на Al_2O_3 , количественное определение содержания НП по интенсивности поглощения в ИК-области спектра С-Н связей метильных и метиленовых групп в области $2700-3100\text{ см}^{-1}$	Для обнаружения углеводородной части нефтяных компонентов
ЛЮМ	Экстракция из почв органических соединений гексаном. Изучение полученных экстрактов методом молекулярной люминесценции в ультрафиолетовой и видимой областях спектра	Для обнаружения ароматических углеводородов и смолистых компонентов НП, в состав которых входят ароматические структуры. Предел обнаружения НП на порядок меньше, чем при использовании ИКС

Таким образом, два представленных выше метода взаимно дополняют друг друга. Первый в основном фиксирует содержание алифатических углеводородов и легких ароматических углеводородов бензольного ряда, второй – учитывает концентрацию всех ароматических структур.

Были получены 52 пары концентраций НП в образцах почвы. Диапазоны и средние значения измеряемых величин представлены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание НП в образцах почвы

Показатель	Обозначение, единицы измерения	ИКС	ЛЮМ
Диапазон значений содержания НП	НП, ppm	НП _{ИКС} = 30 ÷ 4950	НП _{ЛЮМ} = 10 ÷ 2610
Среднее значение	НП _{ср} , ppm	НП _{ИКС,ср} = 991	НП _{ЛЮМ,ср} = 555

В работе [2] обосновано, что линейный коэффициент корреляции Пирсона между двумя массивами данных принимает значение $r=0,81$, что по шкале Чеддока соответствует высокой силе связи. Для наглядного представления о корреляции построена диаграмма рассеяния и представлена регрессионная модель (рис. 3). Оценку качества регрессионной модели дает коэффициент детерминации – R^2 , вычисляемый возведением коэффициента корреляции в квадрат. На диаграмме рассеяния точек, отображающих зависимость содержания НП, полученных двумя методами, заметен значительный разброс значений относительно линейной регрессионной зависимости (рис. 3). Линейная зависимость характеризуется невысоким коэффициентом детерминации и имеет вид:

$$\text{НП}_{\text{ЛЮМ}} = 0,44\text{НП}_{\text{ИКС}} + 120,0; R^2 = 0,65.$$

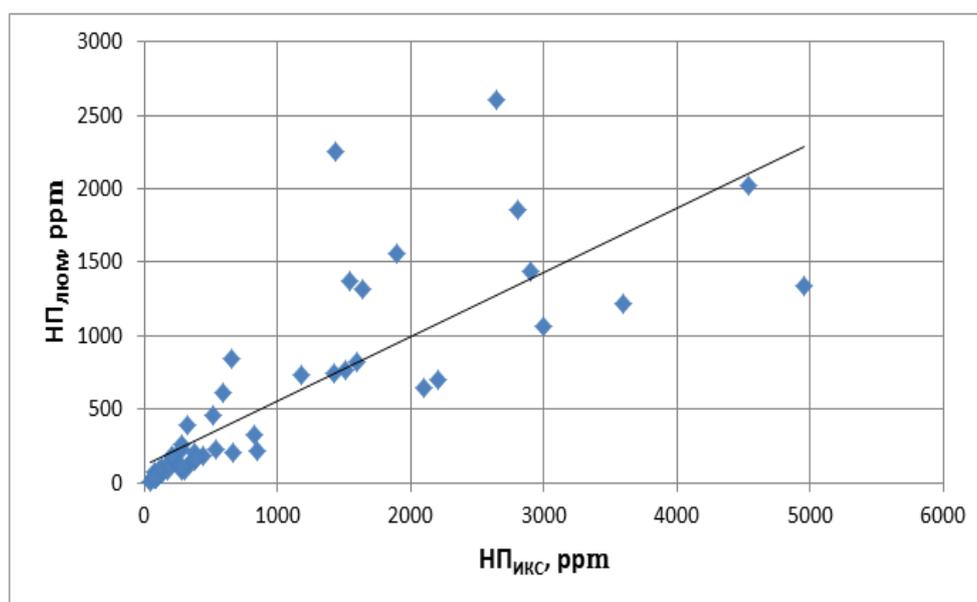


Рис. 3. Диаграмма рассеяния значений зависимости содержания НП, определенных двумя скрининговыми методами [2]

В работе [2] показано, что в диапазоне значений содержания НП менее 220 ppm коэффициент корреляции возрастает до величины $r=0,93$, что по шкале Чеддока соответствует очень высокой силе связи. Полученная линейная регрессионная зависимость имеет вид:

$$\text{НП}_{\text{люм}} = 0,89\text{НП}_{\text{икс}} - 30,4; R^2 = 0,86.$$

Следует, однако, отметить, высокую чувствительность коэффициента Пирсона к выбросам (табл. 2). Если принять за выбросы точки с наибольшими отклонениями от прямой, представленной на рис. 3, можно построить новую зависимость (рис. 4). Массив данных в этом случае представлен 48 точками, значение коэффициента корреляции составляет $r=0,90$. Полученное уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\text{НП}_{\text{люм}} = 0,45\text{НП}_{\text{икс}} - 70,8; R^2 = 0,81.$$

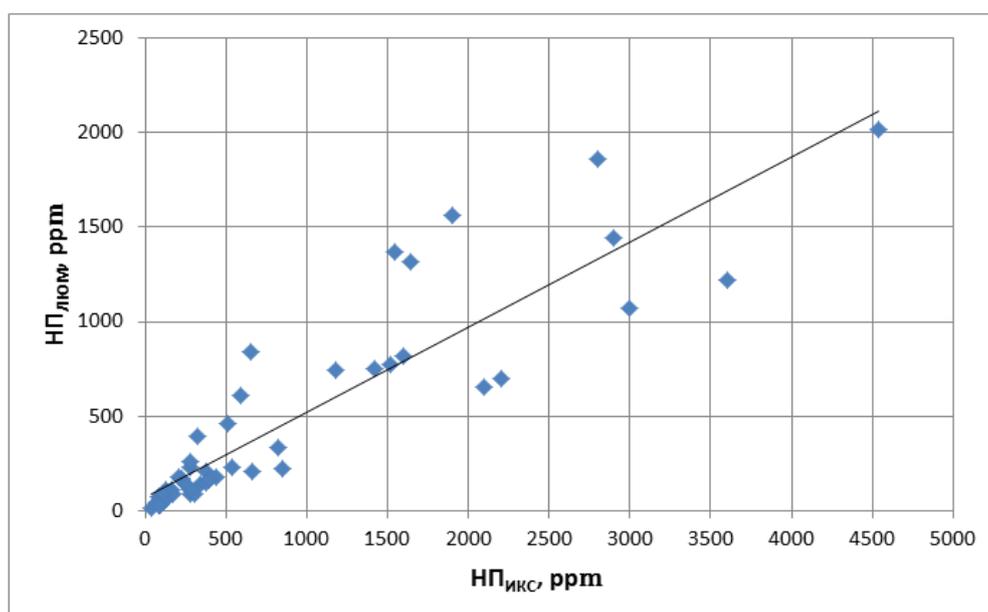


Рис. 4. Уточненная диаграмма рассеяния значений зависимости содержания НП, определенных двумя скрининговыми методами

Для снятия ограничений применения линейной зависимости (табл. 2) и выявления тесноты связи при использовании коэффициента корреляции Спирмена составлена матрица рангов для полученных экспериментальных значений концентраций НП. По формуле (1) проведено вычисление коэффициента Спирмена и оценена его статистическая значимость с использованием зависимости (2). Результаты расчета представлены в табл. 5, диаграмму рассеяния иллюстрирует рис. 5.

Таблица 5

**Результаты расчета коэффициента корреляции Спирмена
и определения его статистической значимости**

$\sum d^2$	$6 \sum d^2$	$n \cdot (n^2 - 1)$	$\frac{6 \sum d^2}{n \cdot (n^2 - 1)}$	ρ	ρ^2	t
16947	10182	140556	0,0724	0,93	0,86	17,54

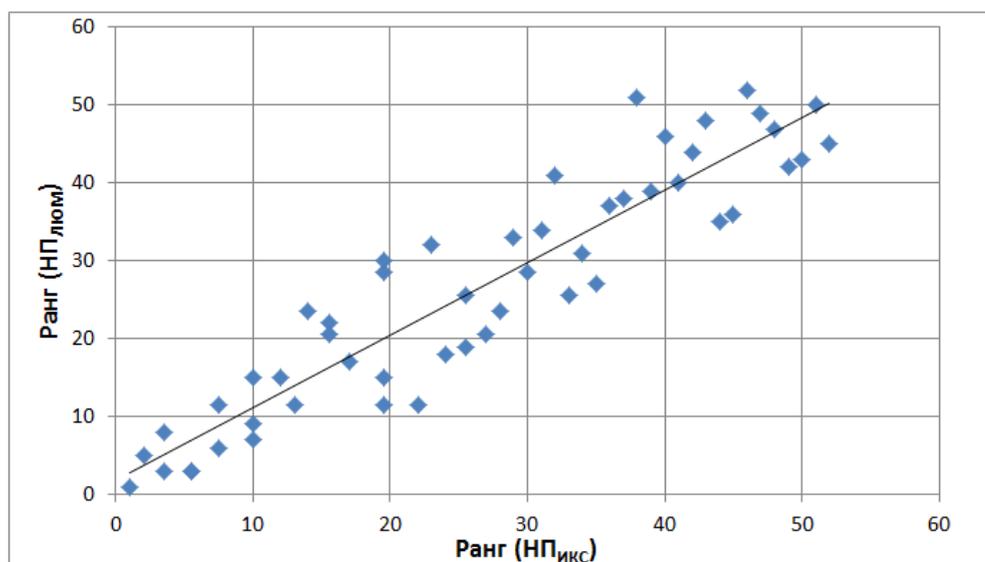


Рис. 5. Диаграмма рассеяния ранговых значений зависимости содержания НП, определенных двумя скрининговыми методами

Расчеты показали, что коэффициент Спирмена является статистически значимым. Его значение $\rho=0,93$. Регрессионная зависимость имеет вид:

$$\text{НП}_{\text{люм}} = 0,93\text{НП}_{\text{икс}} + 1,9; R^2 = 0,86.$$

Связь между исследуемыми признаками – прямая, теснота (сила) связи по шкале Чеддока – очень высокая.

Заключение

Установлены зависимости, позволяющие сопоставлять результаты, получаемые при изучении нефтяного загрязнения почв методом инфракрасной спектроскопии и методом молекулярной люминесценции. В качестве переменных, для которых устанавливали взаимосвязь, были изучены концентрации в почве алифатических и моноароматических углеводородов, определяемых методом ИК-спектроскопии, и ароматических углеводородов, выявляемых методом молекулярной люминесценции. Проведен корреляционный анализ силы (тесноты) связи между результатами измерений содержания НП в почвах двумя представленными независимыми скрининговыми методами.

Установлено, что при относительно низких значениях (концентрация НП в почве не превышает 220 ppm) между рассматриваемыми переменными существует линейная зависимость, характеризующаяся очень высокой силой связи. При значениях содержания НП в почве выше 220 ppm и/или значительном разбросе полученных экспериментальных данных целесообразно использовать ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Исследования показали, что его значение в 1,15 раз выше, чем значение коэффициента корреляции Пирсона на том же массиве данных, полученных при изучении почв заявленными скрининговыми методами.

Использование выявленных зависимостей позволяет сформировать достаточно полную картину об обстановке, сложившейся на исследуемой территории, связанной с загрязнением почвы НП, основываясь на экспериментальных данных, полученных с помощью одного из представленных скрининговых методов. Результаты второго метода могут быть найдены расчетным путем. Это значительно упрощает процедуру проведения экспериментов и создает предпосылки для снижения времени принятия решений и увеличения оперативности реагирования на возникающие ЧС.

Список источников

1. Strategic implementation of integrated bioaugmentation and biostimulation for efficient mitigation of petroleum hydrocarbon pollutants from terrestrial and aquatic environment / I.D. Behera [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. Vol. 177. P. 113492. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113492.
2. Зайкин Р.Г., Галишев М.А., Демехин Ф.В. Методика избирательного обнаружения нефтепродуктов в почве при расследовании аварий на нефтегазовых объектах // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2020. № 4 (56). С. 152–160.
3. Нормирование допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах / Р.Р. Шагидуллин [и др.] // *Георесурсы*. 2011. № 5 (41).
4. Околелова А.А., Капля В.Н., Лапченков А.Г. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах // *Региональные геосистемы*. 2019. № 1.
5. Synergistic adsorption and biodegradation of heavy crude oil by a novel hybrid matrix containing immobilized *Bacillus licheniformis*: Aqueous phase and soil bioremediation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 222. P. 112505.
6. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИИ-Природа, 2004. 271 с.
7. ПНД Ф 16.1:2.2.22–98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии (издание 2005 г.). URL: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения: 03.03.2024).
8. ПНД Ф 16.1:2.21–98. Методика выполнения измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат 02» (М 03-03–2012) (издание 2012 г.). URL: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения: 03.03.2024).
9. Баврина А.П., Борисов И.Б. Современные правила применения корреляционного анализа // *Медицинский альманах*. 2021. № 3 (68). С. 70–79.
10. Орлов А.И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии // *Научный журнал КубГАУ*. 2020. № 160.

References

1. Strategic implementation of integrated bioaugmentation and biostimulation for efficient mitigation of petroleum hydrocarbon pollutants from terrestrial and aquatic environment / I.D. Behera [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. Vol. 177. P. 113492. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113492.
2. Zajkin R.G., Galishev M.A., Demekhin F.V. Metodika izbiratel'nogo obnaruzheniya nefteproduktov v pochve pri rassledovanii avarij na neftegazovyh ob"ektah // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2020. № 4 (56). S. 152–160.
3. Normirovanie dopustimogo ostatochnogo sodержaniya nefti i produktov ee transformacii v pochvah / R.R. Shagidullin [i dr.] // *Georesursy*. 2011. № 5 (41).
4. Okolelova A.A., Kaplya V.N., Lapchenkov A.G. Ocenka sodержaniya nefteproduktov v pochvah // *Regional'nye geosistemy*. 2019. № 1.
5. Synergistic adsorption and biodegradation of heavy crude oil by a novel hybrid matrix containing immobilized *Bacillus licheniformis*: Aqueous phase and soil bioremediation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 222. P. 112505.
6. Levich A.P., Bulgakov N.G., Maksimov V.N. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy tekhnologii regional'nogo kontrolya prirodnoj sredy po dannym ekologicheskogo monitoringa. M.: NIA-Priroda, 2004. 271 s.

7. PND F 16.1:2.2.22–98. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj doli nefteproduktov v mineral'nyh, organogennyh, organomineral'nyh pochvah i donnyh otlozheniyah metodom IK-spektrometrii (izdanie 2005 g.). URL: <https://ohranatruda.ru/> (data obrashcheniya: 03.03.2024).

8. PND F 16.1:2.21–98. Metodika vypolneniya izmereniya massovoj doli nefteproduktov v probah pochv i gruntov fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Flyuorat 02» (M 03-03–2012) (izdanie 2012 g.). URL: <https://ohranatruda.ru/> (data obrashcheniya: 03.03.2024).

9. Bavrina A.P., Borisov I.B. Sovremennye pravila primeneniya korrelyacionnogo analiza // Medicinskij al'manah. 2021. № 3 (68). S. 70–79.

10. Orlov A.I. Veroyatnostno-statisticheskie modeli korrelyacii i regressii // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2020. № 160.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.04.2024; одобрена после рецензирования: 20.05.2024; принята к публикации: 29.05.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.04.2024; approved after review: 20.05.2024; accepted for publication: 29.05.2024

Информация об авторах:

Зайкин Руслан Григорьевич, старший инструктор профилактики ГПП СПСЧ № 11 «Специальное управление ФПС № 50 Санкт-Петербурга» (192012, Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 136); соискатель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ruslan-zajkin@yandex.ru, SPIN-код: 7278-9296

Королева Людмила Анатольевна, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>, SPIN-код: 6101-9772

Петров Юрий Сергеевич, профессор кафедры теоретической электротехники и электрических машин Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (362021, Россия, Республика Северная Осетия – Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, д. 44), доктор технических наук, AuthorID: 762230, SPIN-код: 5932-2399

Information about the authors:

Zaykin Ruslan G., senior prevention instructor of the fire prevention group of the special fire and rescue unit № 11 «Special department of the federal fire service № 50 of Saint-Petersburg» (192012, Saint-Petersburg, Obukhovskaya Oborona ave., 136); candidate of the department of fire, emergency rescue equipment and automotive industry of Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ruslan-zajkin@yandex.ru, SPIN: 7278-9296

Koroleva Lyudmila A., professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>, SPIN: 6101-9772

Petrov Yuriy S., professor of the department of theoretical electrical engineering and electrical machines, North caucasus mining and metallurgical institute (State technological university) (362021, Russia, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, Nikolaeva str., 44), doctor of technical sciences, AuthorID: 762230, SPIN: 5932-2399