Геоэкология

DOI: 10.35634/UdSU.2026.96.67.004

УДК 502.57; 57.044

А.С. Мельникова, Э.С. Насырова, Н.А. Кальсин

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМИ ФАКТОРАМИ

Аннотация. Проведено комплексное исследование пространственно-временного распределения разливов нефти и их взаимосвязи с социально-экономическими и институциональными факторами. На основе анализа данных по 43 странам за период 1903-2023 гг. выявлена пространственная неоднородность: объемы разливов варьируются от 35 т до 2,69 млн. т, при этом выявлено отсутствие взаимосвязи между частотой и масштабом аварийных разливов. Исследование долгосрочной динамики разливов с танкеров (1970-2024 гг.) показало сокращение их общего числа на 83,05% за 50-летний период. Однако за 20-летний период доля крупномасштабных разливов возросла с 20 % до 60 % при общем сокращении количества инцидентов на 60 %. Корреляционный анализ с применением коэффициента Спирмена выявил статистически значимые связи объема разливов лишь с двумя факторами: размером субсидий на ископаемое топливо (rs=0,45117; p=0,002) и объемом добычи нефти (rs=0,33613; p=0,028). Гипотезы о влиянии институциональных (индексы коррупции и верховенства закона) и технологически-экологических факторов (качество портовой инфраструктуры, расходы на НИОКР, индекс экологической эффективности) не получили статистического подтверждения. Результаты свидетельствуют о смещении профиля рисков в сторону катастрофических инцидентов и подчеркивают необходимость целенаправленных мер регулирования, нацеленных на предотвращение именно крупномасштабных разливов.

Ключевые слова: нефть, разлив, фактор, корреляционный анализ, коэффициент Спирмена.

Для цитирования: Мельникова А.С., Насырова Э.С., Кальсин Н.А. Анализ пространственно-временного распределения аварийных разливов нефти и их взаимосвязь с социально-экономическими и институциональными факторами // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т. 9. Вып.2. С. 310–327. DOI: 10.35634/UdSU.2026.96.67.004.

Введение

Нефть является ключевым источником энергии и стратегическим ресурсом, определяющим социально-экономическое развитие стран [1]. Несмотря на глобальные инициативы по достижению «углеродной нейтральности» мировой рынок нефти продолжает демонстрировать устойчивый рост спроса и торговли [2], что сохраняет высокую вероятность возникновения аварийных разливов нефти. Разлив нефти представляет собой непреднамеренный выброс углеводородов в окружающую среду [3], приводящий к значительным экологическим, социальным и экономическим последствиям. Сырая нефть, обладая высокой токсичностью и стойкостью к биодеградации, оказывает разрушительное воздействие на водные экосистемы, приводит к деградации флоры и фауны и изменяет физико-химические свойства воды [4-6]. Кроме того, разливы нефти вызывают прямые экономические убытки, связанные с потерями рыболовства и прибрежного туризма, а также угрожают здоровью человека через накопление токсичных веществ в морепродуктах [7].

С 1970-х по 2020-е годы наблюдается заметное сокращение числа аварий с разливами нефти, однако суммарные объёмы нефтяных разливов остаются значительными, что приводит к крупным экологическим и экономическим потерям [8]. Проблема усугубляется неравномерным распределением инцидентов по странам и регионам, где одиночные крупные аварии могут иметь более разрушительные последствия, чем многочисленные мелкие разливы, особенно в уязвимых прибрежных экосистемах.

Несмотря на многочисленные исследования, посвящённые отдельным авариям или региональным аспектам загрязнения, глобальная картина распределения разливов нефти по странам остаётся недостаточно систематизированной [9]. Существующие данные фрагментарны, а их сопоставление затруднено различиями в масштабах, методиках учёта и уровне развития стран [10, 11]. Между тем, понимание пространственных

закономерностей распределения разливов и их взаимосвязи с социально-экономическими и технологическими характеристиками государств имеет ключевое значение для выработки эффективных механизмов предупреждения аварийных разливов и минимизации экологического ущерба [12].

В связи с этим целью настоящего исследования является анализ статистических взаимосвязей между масштабами нефтяных разливов и экономическими, социально-управленческими, технолого-экологическими факторами в различных странах с выделением географических закономерностей по объёмам и частоте нефтяных разливов.

Материалы и методы

В качестве анализируемых показателей, характеризующих масштаб проблемы нефтяного загрязнения, приняты частота и объём нефтяного разлива (в тоннах). Для анализа факторов, влияющих на показатели, определен набор переменных, сгруппированный по трем блокам: экономический, социально-управленческий и технолого-экологический. Экономический блок включал такие показатели как: ВВП на душу населения (тыс. $), объем добычи нефти за 2023 год (млн. т.), объем импорта нефти (млн. баррелей/сутки) и объем субсидий на ископаемое топливо на душу населения (2021, $). Субсидии на ископаемое топливо на душу населения включают налоговые льготы и финансовую поддержку потребления или производства топлива, а также косвенные выгоды, такие как покрытие экологических издержек от выбросов и сжигания угля, нефти и газа. Исследуемые показатели взяты из открытой базы данных всемирного банка.

Социально-управленческий блок включает индекс восприятия коррупции (Corruption Perceptions Index) и индекс верховенства закона (Rule of Law Index), которые характеризуют качество государственного управления и правовой среды. Индекс восприятия коррупции, ежегодно публикуемый организацией

Transparency International, оценивает уровень восприятия коррупции в государственном секторе разных стран на основе экспертных оценок и опросов бизнесменов. Значения индекса варьируются от 0 до 100, где 0 означает крайне высокий уровень коррупции, а 100 – отсутствие коррупции. Индекс верховенства закона – это интегральный показатель, ежегодно публикуемый организацией World Justice Project, который отражает степень соблюдения принципов верховенства закона в различных странах. Индекс основан на данных опросов населения и экспертов по восьми ключевым аспектам: ограничения полномочий правительства, отсутствие коррупции, открытость правительства, соблюдение фундаментальных прав, порядок и безопасность, исполнение нормативных актов, гражданское и уголовное правосудие. Значения индекса варьируются от 0 до 1, где более высокие значения соответствуют более сильным институтам правового государства.

Технолого-экологический блок включает индекс экологической эффективности, показатель инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) (% от ВВП) и качество портовой инфраструктуры. Индикатор качества портовой инфраструктуры компонент Индекса глобальной конкурентоспособности Всемирного экономического форума, он отражает оценку развития и эффективности портовых сооружений и водных путей, основанную на опросе более 14000 руководителей из 144 стран по шкале от 1 (недостаточно развиты) до 7 (соответствуют международным стандартам). Для стран без выхода к морю оценивался доступ к портовым объектам. В работе использовались данные за 2019 год.

Индекс экологической эффективности – это комплексный показатель, разработанный Йельским и Колумбийским университетами при поддержке Всемирного экономического форума, отражающий эффективность реализации страной экологической политики и устойчивого управления природными ресурсами. Индекс включает более 40 индикаторов, сгруппированных

по направлениям: качество воздуха, управление водными ресурсами, биоразнообразие, изменение климата и др. Значения показателя варьируются от 0 до 100, где более высокий балл означает лучшую экологическую результативность.

Расходы на НИОКР (% от ВВП) – это макроэкономический показатель, характеризуемый уровень инновационной активности страны. В работе рассчитывалось среднее значение показателя по странам за 2005–2023 годы.

Для выявления факторов, влияющих на анализируемые показатели, проводился корреляционный анализ, предварительно обоснованный проверкой нормальности распределения данных по критерию Шапиро–Уилка. Для каждой пары переменных рассчитывались значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r_s) и соответствующие уровни статистической значимости (p). Корреляционный анализ проводился с использованием программного обеспечения OriginPro 2024. Основу исследования составили данные по 43 странам за 1903-2023 гг. из международного открытого источника – Unbiased Switching Advice и данные об аварийных разливах нефти на танкерах за 1970-2024 гг. из открытой платформы Our World in Data, объединенные в панельный набор данных.

Для пространственного распределения анализируемых данных использован метод картографической визуализации. На карту мира наносились данные об объемах и количестве разливов нефти по странам в интегрированной среде разработки RStudio с использованием пакетов dplyr, tidyverse и ggplot2. Для визуализации результатов анализа изменения числа инцидентов по годам использовалось программное обеспечение OriginPro 2024.

Результаты и обсуждения

Данные об объемах разливов нефти в 43 странах за 1903-2023 гг. с использованием картографической визуализации RStudio графически

интерпретированы на рис. 1. Суммарный объём разлитой нефти варьировался от минимальных значений в сотни тонн (например, Перу – 35 т, Уругвай – 340 т) до миллионов тонн (США – 2693457 т). Наибольшие объёмы зафиксированы также в Мексике (468869 т), Иране (445000 т), Нигерии (363873 т) и Южной Африке (381671 т).

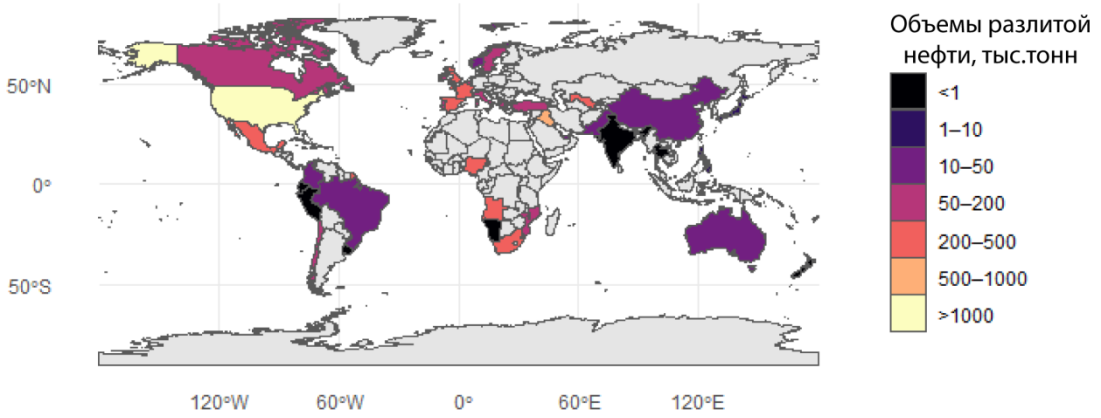


Рис. 1. Объём разлитой нефти по странам с 1903 по 2023 год

Для отображения масштабов разливов применена интервальная классификация с цветовой дифференциацией: темно-фиолетовые оттенки соответствуют малым объёмам, а жёлто-оранжевые – высоким. Страны, для которых отсутствуют данные, отмечены серым цветом, к ним относится и Россия. Полученная в работе карта позволяет наглядно оценить пространственные закономерности нефтяного загрязнения и выявить страны с наибольшей экологической нагрузкой.

Аналогично, для отображения числа разливов нефти по странам в работе применена интервальная классификация с цветовой дифференциацией (рис. 2): более светлые оттенки соответствуют странам с большим числом аварий, более тёмные – с меньшим, а серый цвет обозначает отсутствие данных.

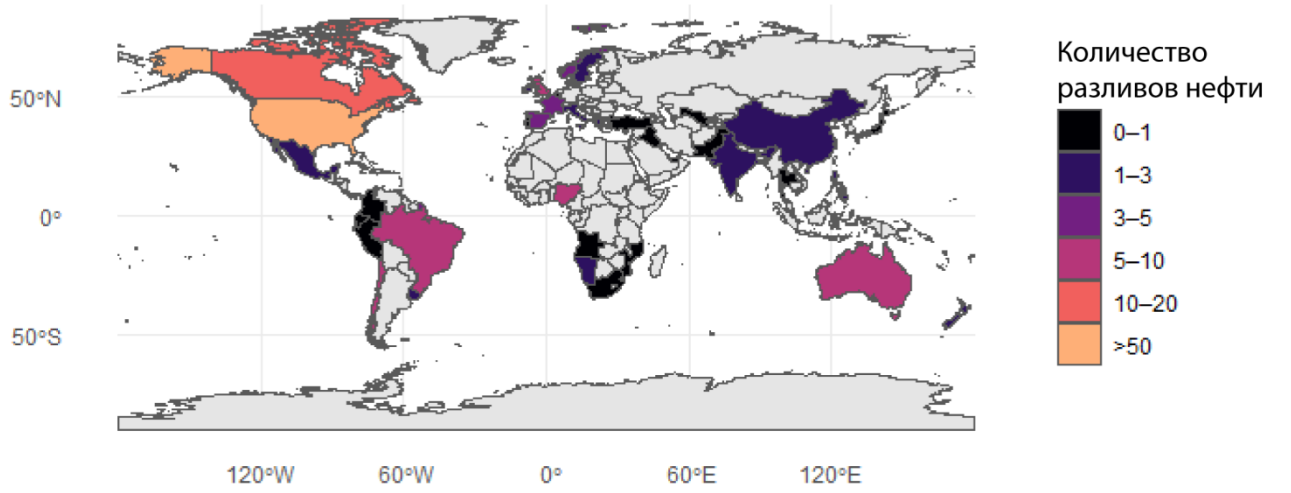


Рис. 2. Количество зарегистрированных разливов нефти по странам в период с 1903-2023 года

Анализ пространственного распределения количества нефтяных разливов показал выраженную неравномерность между странами. Согласно рис. 2, большинство государств (около половины выборки) характеризуются единичными случаями – от одного до трёх аварийных разливов нефти за весь анализируемый период. Такое распределение указывает на эпизодический характер нефтяных загрязнений в странах с относительно низким уровнем нефтедобычи и транспортировки. В то же время, отдельные государства демонстрируют существенно более высокие показатели. Максимальное число аварий, связанных с разливами нефти зафиксировано в США (108), далее следуют Южная Корея (15), Канада (14) и Великобритания (9).

Сопоставление полученных данных, представленных на рис. 1 и 2, показывает, что между объёмом разливов и числом зарегистрированных разливов нефти отсутствует выраженная зависимость. Например, в Южной Корее и Канаде, при относительно малых объемах разлива чаще наблюдаются аварии – 15 и 14 случаев соответственно, что может указывать на повторяющиеся локальные аварии при транспортировке или хранении нефти. Противоположную картину можно наблюдать для стран, в которых зарегистрированы единичные,

но масштабные аварии. Так, Иран, Мексика и Южная Африка при сравнительно небольшом количестве аварий (от 1 до 3 случаев) характеризуются высоким совокупным объёмом нефтяных разливов – от сотен тысяч до почти полумиллиона тонн. Таким образом, частота аварийных разливов не всегда коррелирует с масштабом загрязнения. При этом, по данным работы [13], случайная величина объема разлива нефти не описывается ни нормальным, логнормальным распределением, а также ни распределением Гаусса и Вейбулла.

Для анализа долгосрочной динамики аварийных разливов нефти на танкерах в глобальном масштабе использованы данные платформы Our World in Data за период 1970–2024 гг. Аварийные разливы классифицированы по объёму разлива на две категории: среднемасштабные (7–700 тонн) и крупномасштабные (свыше 700 тонн) (рис. 3).

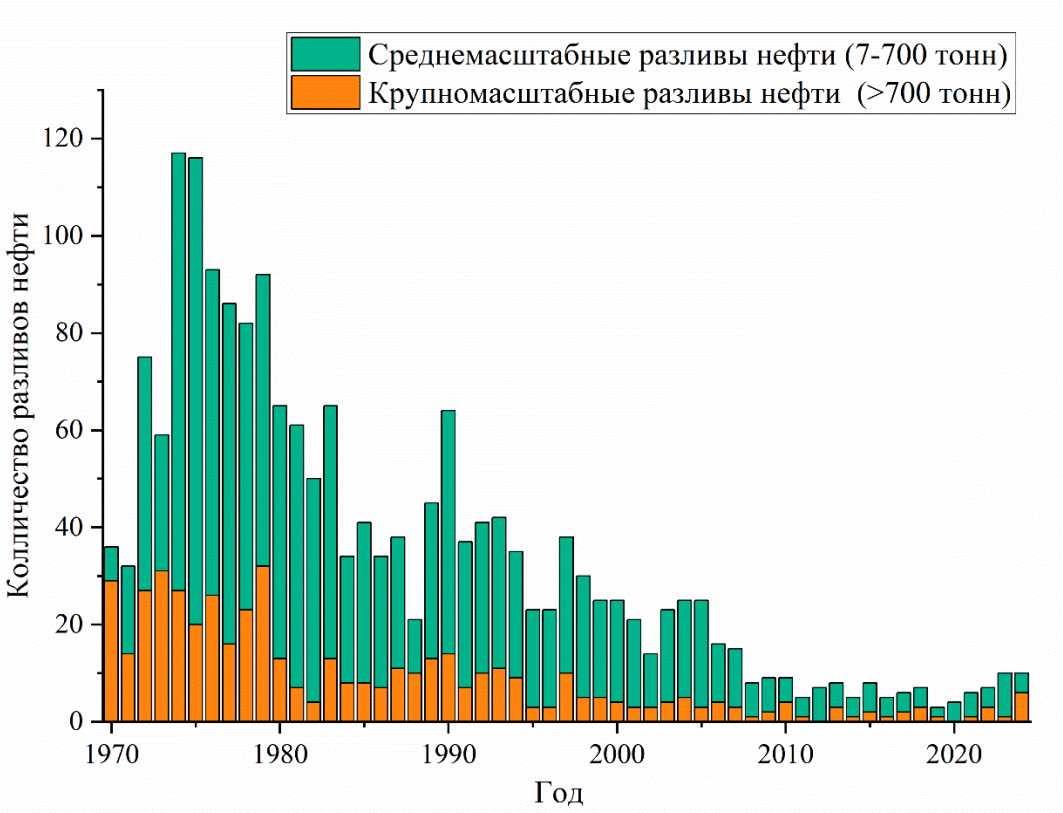


Рис. 3. Динамика разливов нефти с танкеров с 1970-2024 год

В результате анализа данных рис. 3 можно выявить выраженную положительную динамику в снижении количества разливов нефти с танкеров в глобальном масштабе. За 50-летний период (1973-2023 гг.) зафиксировано резкое сокращение общего числа разливов на 83,05% по сравнению с 1973 годом. Столь значительное снижение, наблюдаемое в долгосрочной перспективе, вероятно, является следствием реализации комплекса международных и национальных регуляторных мер, в том числе внедрение концепции ESG [14].

Несмотря на подтверждение общей положительной тенденции к сокращению числа разливов, детальный анализ последних двадцати лет показал, что при сокращении общего количества аварийных разливов на 60 %, зафиксировано увеличение доли крупномасштабных инцидентов в общем количестве аварий (с 20% в 2004 году до 60% в 2024 году). Данный факт свидетельствует о том, что, хотя аварийных разливов становится меньше, их потенциальная экологическая и экономическая опасность не снижается.

Для выявления взаимосвязей между объемом разливов нефти и комплексом экономических, социально-управленческих и технолого-экологических показателей проведен корреляционный анализ. На первом этапе с помощью теста Шапиро-Уилка проверена нормальность распределения всех переменных, а именно: качество портовой инфраструктуры, расходы на НИОКР, индекс экологической эффективности, индекс верховенства закона, индекс восприятия коррупции, импорт нефти, субсидии на ископаемое топливо, объем добычи нефти, ВВП на душу населения и объем разлитой нефти. Результаты показали, что 7 из 10 показателей значимо отклоняются от нормального распределения, что определило выбор непараметрического метода.

В работе применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s), значение $|r_s|$ 0,70-1,00 интерпретировались как сильная связь, 0,40-0,69 – умеренная, <0,39 – слабая связь или ее отсутствие. При этом знак коэффициента определял направление взаимосвязи: положительные значения ($r_s > 0$) указывают

на прямую зависимость, при которой увеличение одного показателя сопровождается ростом другого, тогда как отрицательные (r_s< 0) отражают обратную зависимость – рост одного параметра приводит к снижению другого. Также рассчитан коэффициент p, который представляет вероятность того, что обнаруженная корреляция между переменными является случайной, при условии, что реальной связи не существует. Низкие значения p свидетельствуют о статистической значимости выявленных взаимосвязей, то есть маловероятно, что они возникли случайно. Однако важно подчеркнуть, что статистическая значимость не обязательно подразумевает практическую значимость или причинно-следственную связь – она лишь указывает на надежность выявленного статистического паттерна в рамках выбранной модели анализа. Все расчеты выполнены в программной среде OriginPro 2024.

Полученные результаты визуализированы в виде корреляционной тепловой карты Спирмена (рис. 4).

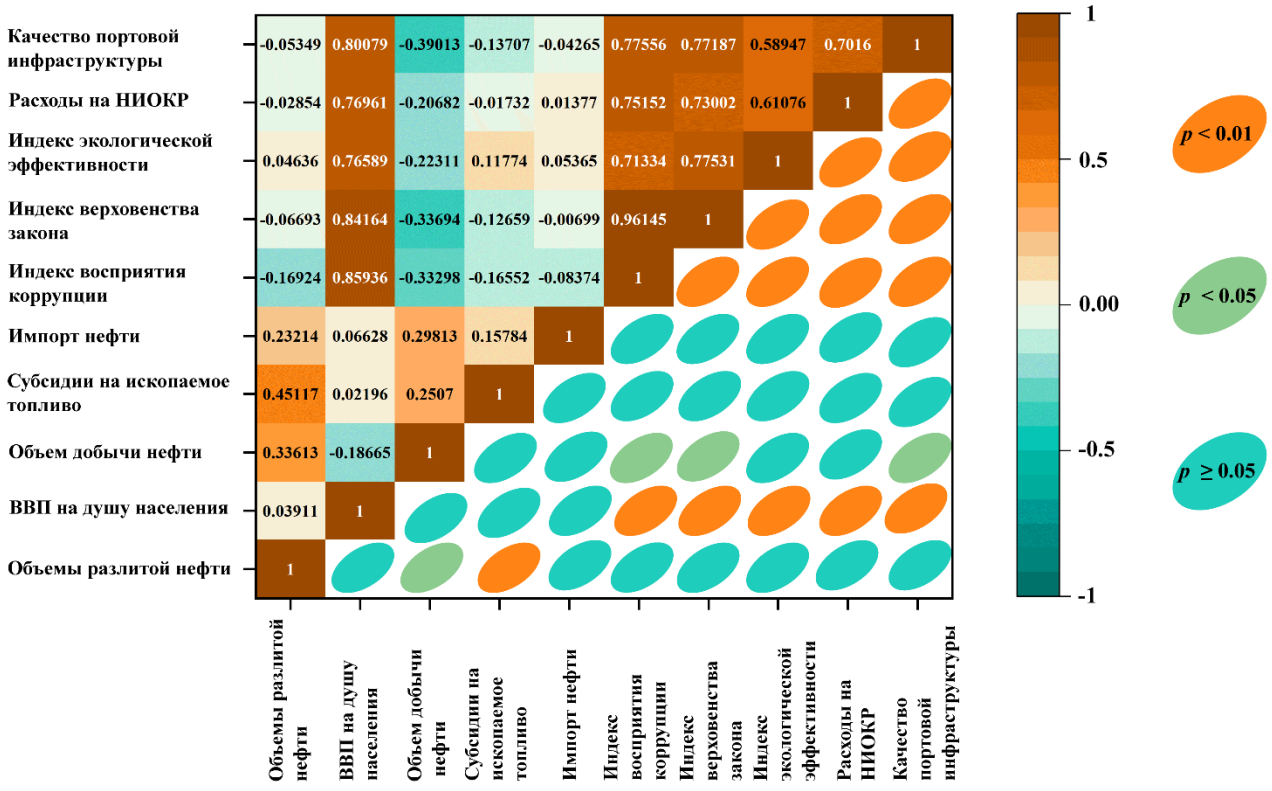


Рис. 4. Корреляционная тепловая карта Спирмена

Для визуального представления корреляций использована цветовая кодировка: теплые оттенки оранжевого цвета указывают на положительную корреляцию, в то время как холодные оттенки голубого – на отрицательную. Насыщенность цвета отражает силу связи: более насыщенные тона соответствуют сильным корреляциям, тогда как менее насыщенные, приглушенные оттенки визуализируют слабые связи.

Статистическая значимость корреляций отображена с помощью цветовых овалов:

Оранжевый овал – выявленная взаимосвязь высоко статистически значима ($p<0,01$). Вероятность того, что наблюдаемая корреляция возникла случайно, составляет менее 1 %.

Зеленый овал свидетельствует о статистической значимости на уровне $p<0,05$. Вероятность случайного совпадения находится в диапазоне от 1 % до 5 %.

Голубой овал показывает, что связь не является статистически значимой ($p \geq 0,05$), то есть наблюдаемая корреляция может быть результатом случайных колебаний данных.

Такое цветовое решение позволяет интуитивно оценить как направление и силу корреляций, так и их статистическую достоверность, обеспечивая комплексное визуальное восприятие результатов анализа.

Проведенный корреляционный анализ выявил комплексную, но неоднозначную картину взаимосвязей между объемом разливов нефти и рассматриваемыми экономическими, социально-управленческими и технолого-экологическими факторами. Согласно данным рис. 4, статистически значимые связи с объемом разливов нефти наблюдаются только для двух переменных: субсидий на ископаемое топливо (r_s=0,45117; p=0,002) и объем добычи нефти (r_s=0,33613; p=0,028). Обнаруженная умеренная положительная корреляция между субсидиями и объемом разливов согласуется

с теоретическими ожиданиями: высокий уровень государственной поддержки нефтяной отрасли может снижать экономические стимулы для внедрения современных технологий безопасности. Слабая, но значимая положительная связь с объемом добычи указывает, что масштаб нефтедобывающей деятельности является существенным, но не определяющим фактором риска разливов.

Что касается институциональных факторов, то гипотеза об их влиянии на объем разливов не нашла статистического подтверждения. Корреляции с индексом восприятия коррупции (r_s=-0,16924; p=0,278) и индексом верховенства закона (r_s=-0,06693; p=0,678) оказались статистически незначимыми. Это может объясняться неполнотой данных о разливах в странах с высоким уровнем коррупции, где система экологического мониторинга развита слабее.

Среди технологически-экологических факторов также не выявлено значимых связей: качество портовой инфраструктуры (r_s=-0,05349; p=0,740), расходы на НИОКР (r_s=-0,02854; p=0,856) и индекс экологической эффективности (r_s=0,04636; p=0,768) демонстрируют статистически незначимые корреляции с объемом разливов. Особенно показателен случай с индексом экологической эффективности: слабая положительная корреляция противоречит теоретическим ожиданиям и может объясняться методологическими особенностями расчета индекса, не учитывающего специфику регулирования нефтегазовой отрасли.

Важным результатом является выявление сильных взаимосвязей между независимыми переменными. Наблюдается очень сильная корреляция между индексом восприятия коррупции и индексом верховенства закона (r_s =0,96145), а также между ВВП на душу населения и институциональными показателями (r_s=0,85936 с индексом коррупции, r=0,84164 с верховенством закона). Это

подтверждает тезис о взаимосвязанности экономического развития и качества институтов, что необходимо учитывать при интерпретации результатов.

Заключение

Проведенное исследование выявило комплексную динамику нефтяных аварийных разливов с выраженным пространственно-временным распределением. Анализ данных за 120-летний период (1903-2023 гг.) показал большую вариабельность объемов разливов между странами – от 35 т в Перу до 2,69 млн. т в США. При этом выявлена значительная пространственная кластеризация с концентрацией крупнейших инцидентов в ограниченной группе государств, включая Мексику (468869 т), Иран (445000 т) и Нигерию (363873 т). Ключевым результатом стало обнаружение дивергенции между частотой и масштабом разливов: тогда как США демонстрируют устойчивую тенденцию к многочисленным инцидентам (108 случаев), другие страны характеризуются единичными, но катастрофическими по объему разливами. Временной анализ выявил значительное сокращение общего количества разливов с танкеров на 83,05% за 50-летний период (1973-2023 гг.). Однако в последние два десятилетия наблюдается тревожная структурная трансформация – при общем сокращении числа инцидентов на 60 % доля крупномасштабных разливов возросла с 20% до 60%, что свидетельствует о смещении профиля рисков в сторону более катастрофических событий. Корреляционный анализ идентифицировал ограниченный набор значимых факторов влияния на масштабы разлива, выявив умеренную положительную связь с субсидиями на ископаемое топливо (r_s=0,45117; p=0,002) и слабую положительную корреляцию с объемом добычи нефти (r_s=0,33613; p=0.028). При этом институциональные и технологически-экологические показатели не показали статистически значимых взаимосвязей, что подчеркивает необходимость разработки специализированных механизмов

регулирования рисков в нефтяном секторе, ориентированных на предотвращение именно катастрофических инцидентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Du X.X., Tang Z.P., Chen K.J. A novel crude oil futures trading strategy based on volume-price time-frequency decomposition with ensemble deep reinforcement learning, Energy, 2023, vol. 285, 129 p.
2. Yan J.J., Guo Y.Q., Zhang H.W. The dynamic evolution mechanism of structural dependence characteristics in the global oil trade network, Energy, 2024, vol. 303, pp. 131914.
3. Kelbaliyev G.I., Rasulov S.R., Manafov M.R., Shikhieva F.R., Abdullayeva N.A. Study of modern methods of removing deposits formed in oil equipment and pipes, SIIT, 2025, vol. 7, no 4 (23), pp. 29 – 37.
4. Hong S., Yoon S.J., Kim T., Ryu J., Kang S.-G., Khim J.S. Response to oiled wildlife in the management and evaluation of marine oil spills in South Korea: a review, Regional Studies in Marine Science, 2020, vol. 40, pp. 101542.
5. Li B., Xu J., Pan X., Ma L., Zhao Z., Chen R., Liu Q., Wang H. Marine oil spill detection with x-band shipborne radar using GLCM, SVM and FCM. Remote Sensing, 2022, vol.14, pp. 3715.
6. Silva F.R.D., Schiavetti A., Malhado A.C.M., Ferreira B., Sousa C.V.D.P., Vieira F.P., Pinto F.R., Souza G.B.G.D., Olavo G., Santos J.B.Q.D., Campos-Silva J.V., Oliveira Júnior J.G.C.D., Messias L.T., Barbosa Filho M.L.V., Accioly M.D.C., Fabr´e N.N., Abdallah P.R., Lopes P.F.M., Kikuchi R.K.P.D., Cˆamara S.F., Batista V.D.S., Soares M.O., Oil spill and Socioeconomic Vulnerability in Marine Protected areas, Frontiers in Marine Science, 2022, vol. 9, pp. 859697.
7. Оруджев Р.А., Джафарова Р.Э. Особенности токсического действия углеводородов нефти на организм человека // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2017. №4. С. 8 – 15.
8. ITOPF Oil Tanker spill Statistics for 2024 - ITOPF. https://www.itopf.org/news-events/news/itopf-oil-tanker-spill-statistics- for-2024.
9. Тыщенко С.В., Потапова С.О. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом нефтепродуктов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9. С. 909 – 915.

10. Han B., Fan S. Analysis of marine oil spill accidents using a human-centered approach // Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2025, vol. 147, pp. 104963.
11. Yang D., Huang X., Xie B., Ding Z., Zheng J., Wang J. Multidimensional causation chain analysis of marine oil spill accidents: based on grounded theory and bow-tie model, Ocean Engineering. 2025, vol. 341 (Part 4), pp. 122824.
12. Александров Д.В., Нафикова Э.В., Асылбекова А.А., Ахияров И.И., Сидорова А.Н. Пространственный анализ разливов нефти и нефтепродуктов на территории Республики Башкортостан с использованием геоинформационных систем // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29, № 10. С. 60 – 66.
13. Alekseev D.V., Lentarev A.A. Statistical analysis of oil and oil product spills at sea, Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2023, vol. 15.6, pp. 959–970.
14. Кантор О.Г., Кантор Е.А. Оценка устойчивого развития компаний на основе использования мультипликативных степенных функций // Системная инженерия и информационные технологии. 2025. Т. 7. №1(20). С. 21 – 27.

Поступила в редакцию: 05.02.2026.

Сведения об авторах

Мельникова Анна Сергеевна,
аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
4500076, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32, Россия
E-mail: annamel7@mail.ru

Насырова Элина Сагитовна
доцент, к.т.н., ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
4500076, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32, Россия
E-mail: ElinaSagitovna@yandex.ru

Кальсин Никита Александрович
аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
4500076, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32, Россия
E-mail: kalsin.nikita@bk.ru

A.S. Melnikova, E.S. Nasyrova, N.A. Kalsin

ANALYSIS OF THE SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION OF OIL SPILLS AND THEIR RELATIONSHIP WITH SOCIO-ECONOMIC AND INSTITUTIONAL FACTORS

Annotation. A comprehensive study of the spatiotemporal distribution of oil spills and their relationship with socio-economic and institutional factors was conducted. Based on an analysis of data from 43 countries covering the period 1903–2023, spatial heterogeneity was revealed: spill volumes range from 35 tons to 2.69 million tons, while no correlation was found between the frequency and magnitude of accidental spills. An examination of the long-term dynamics of spills from tankers (1970–2024) showed a reduction in their total number by 83.05% over a 50-year period. However, over a 20-year period, the proportion of large-scale spills increased from 20% to 60% despite an overall reduction in the number of incidents by 60%. Correlation analysis using Spearman's coefficient revealed statistically significant relationships between spill volume and only two factors: the amount of fossil fuel subsidies ($r_s = 0.45117$; $p = 0.002$) and the volume of oil production ($r_s = 0.33613$; $p = 0.028$). Hypotheses regarding the influence of institutional factors (corruption and rule of law indices) and technological-environmental factors (port infrastructure quality, R&D expenditures, environmental performance index) were not statistically supported. The results indicate a shift in the risk profile toward catastrophic incidents and underscore the need for targeted regulatory measures aimed specifically at preventing large-scale spills.
Keywords: oil, spill, factor, correlation analysis, Spearman coefficient.

For citation: Melnikova A.S., Nasyrova E.S., Kalsin N.A. [Analysis of the spatiotemporal distribution of oil spills and their relationship with socio-economic and institutional factors] *Upravlenie tekhnosferoi,* 2026, vol. 9, issue 2, pp. 310–327. DOI: 10.35634/UdSU.2026.96.67.004. (In Russ.).

REFERENCES

1. Du X.X., Tang Z.P., Chen K.J. A novel crude oil futures trading strategy based on volume-price time-frequency decomposition with ensemble deep reinforcement learning, Energy, 2023, vol. 285, 129 p.
2. Yan J.J., Guo Y.Q., Zhang H.W. The dynamic evolution mechanism of structural dependence characteristics in the global oil trade network, Energy, 2024, vol. 303, pp. 131914.
3. Kelbaliyev G.I., Rasulov S.R., Manafov M.R., Shikhieva F.R., Abdullayeva N.A. Study of modern methods of removing deposits formed in oil equipment and pipes, SIIT, 2025, vol. 7, no 4 (23), pp. 29 – 37.

4. Hong S., Yoon S.J., Kim T., Ryu J., Kang S.-G., Khim J.S. Response to oiled wildlife in the management and evaluation of marine oil spills in South Korea: a review, Regional Studies in Marine Science, 2020, vol. 40, pp. 101542.
5. Li B., Xu J., Pan X., Ma L., Zhao Z., Chen R., Liu Q., Wang H. Marine oil spill detection with x-band shipborne radar using GLCM, SVM and FCM. Remote Sensing, 2022, vol.14, pp. 3715.
6. Silva F.R.D., Schiavetti A., Malhado A.C.M., Ferreira B., Sousa C.V.D.P., Vieira F.P., Pinto F.R., Souza G.B.G.D., Olavo G., Santos J.B.Q.D., Campos-Silva J.V., Oliveira Júnior J.G.C.D., Messias L.T., Barbosa Filho M.L.V., Accioly M.D.C., Fabr´e N.N., Abdallah P.R., Lopes P.F.M., Kikuchi R.K.P.D., Cˆamara S.F., Batista V.D.S., Soares M.O., Oil spill and Socioeconomic Vulnerability in Marine Protected areas, Frontiers in Marine Science, 2022, vol. 9, pp. 859697.
7. Orujev R.A., Jafarova R.E. Osobennosti toksicheskogo dejstviya uglevodorodov nefti na organizm cheloveka [Features of the toxic effect of petroleum hydrocarbons on the human body]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [*Bulletin of Vitebsk State Medical University*]. 2017, no.4, pp. 8 – 15. (In Russ.).
8. ITOPF Oil Tanker spill Statistics for 2024 - ITOPF. https://www.itopf.org/news-events/news/itopf-oil-tanker-spill-statistics- for-2024.
9. Tyshchenko S.V., Potapova S.O. Monitoring i prognozirovanie chrezvychajnyh situacij, svyazannyh s razlivom nefteproduktov [Monitoring and forecasting of emergency situations related to oil spill]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy* [*Fire safety: problems and prospects*]. 2018, no. 9, pp. 909 –915. (In Russ.).
10. Han B., Fan S. Analysis of marine oil spill accidents using a human-centered approach // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2025, vol. 147, pp. 104963.
11. Yang D., Huang X., Xie B., Ding Z., Zheng J., Wang J. Multidimensional causation chain analysis of marine oil spill accidents: based on grounded theory and bow-tie model, Ocean Engineering. 2025, vol. 341 (Part 4), pp. 122824.
12. Alexandrov D.V., Nafikova E.V., Asylbekova A.A., Akhiyarov I.I., Sidorova A.N. Prostranstvennyj analiz razlivov nefti i nefteproduktov na territorii Respubliki Bashkortostan s ispol'zovaniem geoinformacionnyh sistem [Spatial analysis of oil and petroleum product spills on the territory of the Republic of Bashkortostan using geoinformation systems]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]. 2025, vol. 29, no. 10, pp. 60 – 66. (In Russ.).

13. Alekseev D.V., Lentarev A.A. Statistical analysis of oil and oil product spills at sea, Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2023, vol. 15.6, pp. 959–970. (In Russ.).
14. Kantor O.G., Kantor E.A. Ocenka ustojchivogo razvitiya kompanij na osnove ispol'zovaniya mul'tiplikativnyh stepennyh funkcij [Assessment of the sustainable development of companies based on the use of multiplicative power functions]. Sistemnaya inzheneriya i informacionnye tekhnologii [System engineering and information technology]. 2025, vol. 7, №1(20), pp. 21 – 27. (In Russ.).

Received: 05.02.26

About the Authors

Melnikova Anna Sergeevna
graduate student, Ufa University of Science and Technology, 4500076, Ufa city, Z.Validi st. 32, Russia. E-mail: annamel7@mail.ru

Nasyrova Elina Sagitovna
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Ufa University of Science and Technology
4500076, Ufa city, Z.Validi st. 32, Russia.
E-mail: nasyrova.es@ugatu.su

Kalsin Nikita Aleksandrovich
graduate student, Ufa University of Science and Technology
4500076, Ufa city, Z.Validi st. 32, Russia.
E-mail: kalsin.nikita@bk.ru