

# Оценка и картографирование рисков воздействия аварийных нефтеразливов на лесной комплекс нефтедобывающих регионов России

Кочергин Г.А., Муратов И.Н., Куприянов М.А., Полищук Ю.М.  
Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск, Россия  
kocheringa@uriit.ru

## Аннотация

В работе рассмотрены вопросы оценки экологических рисков на территории нефтедобывающего региона на основе сочетания методов кластеризации и пространственного анализа данных. Используются данные по аварийности на промысловых нефтепроводах и данные о лесонарушениях на территории Ханты-Мансийского автономного округа за период с 2014 по 2020 год. Результатом анализа рисков являются цифровые карты, отображающие 5 уровней риска аварийного разлива нефти и риска лесонарушений. Разработанные цифровые карты опубликованы в сети Интернет с обеспечением авторизованного доступа и используются контрольно-надзорными службами региона при планировании выездных мероприятий и контрольных проверок.

## Материалы и методы

Материалы: база данных, накопленная в региональной информационной системе «Автоматизированная информационная система контрольно-надзорной деятельности» Природнадзора Югры. Использовалась выборка о произошедших на территории ХМАО авариях на промысловых нефтепроводах и выявленных

лесонарушениях за 2014–2020 гг.

Методы: кластеризация и пространственный анализ данных.

## Ключевые слова

аварийные нефтеразливы, риск-анализ, пространственный анализ, кластерный анализ, геоинформационные системы, цифровые карты

## Благодарности

Работа выполнялась в рамках государственного задания Департамента информационных технологий и цифрового развития Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на 2021 г. и при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-45-860003 «Модель оценки рисков состояния лесного фонда на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры».

## Для цитирования

Кочергин Г.А., Муратов И.Н., Куприянов М.А., Полищук Ю.М. Оценка и картографирование рисков воздействия аварийных нефтеразливов на лесной комплекс нефтедобывающих регионов России // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 5. С. 86–89. DOI: 10.24412/2076-6785-2022-5-86-89

Поступила в редакцию: 25.11.2021

ECOLOGY

UDC: 528.946, 519.237.8 | Original Paper

## Assessment and mapping of the risks of emergency oil spills impacts on the forest complex of oil producing regions of Russia

Kochergin G.A., Muratov I.N., Kupriyanov M.A., Polishchuk Yu.M.  
Ugra research institute of information technologies, Khanty-Mansiysk, Russia  
kocheringa@uriit.ru

## Abstract

The paper considers the assessment of environmental risks in the territory of the oil-producing region based on a combination of clustering methods and spatial analysis of data. We used the data on the accident rate at the oil field pipelines and the data on forest accidents on the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug for the period from 2014 to 2020. The results of the risk analysis are digital maps showing five levels of oil spill risk and risk of forest accidents. The developed digital maps are published on the Internet with authorized access and are used by the control and supervisory services of the region when planning field trips and control inspections.

## Materials and methods

Materials: database accumulated in the regional information system “Automated Information System of Control and Supervision Activities” of Prirodnadzor of Yugra. We used a sample of accidents occurred in the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug on field oil pipelines and detected forests violations in 2014–2020.

Methods: clustering and spatial data analysis.

## Keywords

oil spills, risk-analysis, spatial analysis, cluster analysis, geoinformation systems, digital maps

## For citation

Kochergin G.A., Muratov I.N., Kupriyanov M.A., Polishchuk Yu.M. Assessment and mapping of the risks of emergency oil spills impacts on the forest complex of oil producing regions of Russia. Exposition Oil Gas, 2022, issue 5, P. 86–89. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2022-5-86-89\*

Received: 25.11.2021

## Введение

Одной из главных экологических проблем нефтедобывающих регионов на северных территориях России является негативное воздействие нефтедобычи и транспортировки углеводородного сырья на лесной комплекс региона. Здесь следует выделить два основных вида рисков. Во-первых, это риски загрязнения земель лесного фонда вследствие аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [1]. Во-вторых, это риски различных нарушений в сфере лесопользования, в том числе незаконная вырубка лесных насаждений. Исследования в данной работе проводятся на примере Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), на территории которого добывается около половины всей российской нефти. По данным Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений ХМАО — Югры (Природнадзор Югры), на территории региона ежегодно фиксируется несколько сотен инцидентов, связанных с аварийными нефтеразливами или лесонарушениями, ущерб от которых исчисляется миллионами рублей [1].

В последнее десятилетие были разработаны новые методы и средства прогнозирования аварий на нефтепроводах. В работе [2] представлена модель на основе сочетания методов регрессионного анализа и искусственных нейронных сетей с использованием исторических данных об авариях на нефтепроводах. Предложена методика оптимизации интервалов инспекции состояния подземных нефтепроводов [3], использующая динамические байесовские сети. В [4] разработана система оценки рисков на основе методов нечеткой логики для анализа данных об аварийности в колумбийской сети транспортировки нефти. Однако существующие в настоящее время методы и средства анализа экологических нарушений на территориях нефтедобычи не учитывают возможности одновременного воздействия на лесные комплексы как аварийных нефтеразливов, так и нарушений в сфере лесопользования, характерных для отечественных условий нефтедобычи.

Особенностями российских нефтедобывающих регионов являются достаточно обширные территории и относительно слаборазвитая транспортная инфраструктура, что значительно усложняет проведение надзорными органами экологического контроля на территории региона. Поэтому возникает необходимость повышения эффективности и оперативности экологического контроля на базе новых информационных технологий, основанных на использовании методов риск-анализа [5, 6]. Сложность решения задачи анализа риска в нашей работе связана с необходимостью совместного учета двух разнородных факторов риска: воздействия на лесной комплекс аварийных нефтеразливов и воздействия нарушений в сфере

лесопользования. Насколько нам известно, вопросы анализа и оценки такого комплексного риска в настоящее время изучены недостаточно, что требует разработки нового подхода к решению этой задачи.

Перспективным, по нашему мнению, является подход к оценке комплексного экологического риска, включающего риск аварийных разливов нефти и риск лесонарушений, основанный на использовании кластерного анализа имеющихся многолетних данных об установленных ранее инцидентах. Выявленные в результате кластеры — участки территории с равной степенью риска — удобно использовать для отображения результатов кластеризации на цифровых картах с помощью геоинформационных систем (ГИС). Целью данной работы является изложение методических вопросов и результатов оценки экологического риска воздействия нефтеразливов с учетом лесонарушений на территории нефтедобывающего региона на примере ХМАО.

## Материалы и методы

Для проведения исследований в настоящей работе использовались данные, накопленные в региональной информационной системе «Автоматизированная информационная система контрольно-надзорной деятельности» (АИС КНД), основным пользователем которой является Природнадзор Югры. В качестве исходных данных использовалась выборка информации обо всех произошедших на территории автономного округа авариях на промысловых нефтепроводах и выявленных лесонарушениях за 2014–2020 гг. Для каждого инцидента определены местоположение и дата, что позволяет провести

пространственный анализ данных на участках определенной площади за весь рассматриваемый отрезок времени. Всего за указанный период из АИС КНД было выбрано 12 903 записи об авариях на нефтепроводах и 5 815 записей о лесонарушениях.

Обзор различных ГИС показал, что наиболее перспективным для решения поставленной задачи может рассматриваться разработанное в Центре науки о пространственных данных Чикагского университета США специализированное программное обеспечение ГИС GeoDA [7]. Для картографирования рисков аварийных разливов нефти и рисков лесонарушений в регионе использована серверная геоинформационная система NextGIS Web [8], что позволило предоставить доступ к разработанным цифровым картам определенному кругу авторизованных пользователей (сотрудникам Природнадзора Югры) посредством сети Интернет.

Рассмотрим методические вопросы оценки экологических рисков на территории автономного округа, которая реализуется алгоритмическими средствами с использованием методов кластеризации и пространственного анализа. Для построения цифровой карты оценки рисков аварийных разливов нефти вся территория лицензионных участков, расположенных в автономном округе, была разбита на элементарные участки с использованием правильной гексагональной сети с размером ребра 1,25 км. Для цифровой карты оценки рисков лесонарушений элементарные участки были выбраны в соответствии с административным делением лесного фонда на урочища. Процесс обработки данных для создания цифровых карт включал три этапа.

Первый этап. Для каждого элементарного

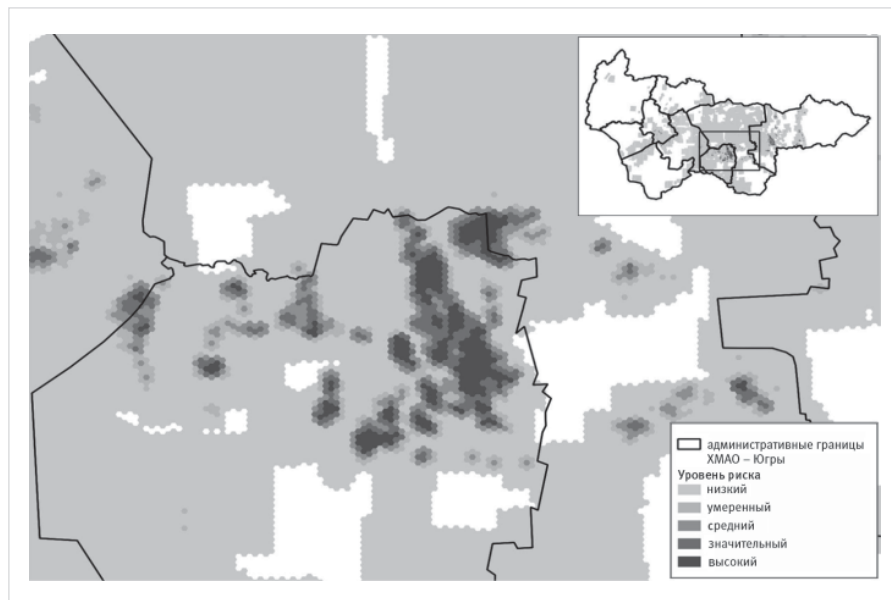


Рис. 1. Цифровая карта рисков аварийных разливов нефти  
Fig. 1. Digital map of oil spill risks

Таб. 1. Пределы изменения интегрального показателя по кластерам  
Tab. 1. Limits of change in the integral index by clusters

Пределы изменения интегрального показателя	№ кластера / уровень риска				
	1/низкий	2/умеренный	3/средний	4/значительный	5/высокий
По авариям	0–0,1	0,1–0,8	0,8–2,7	2,7–6,4	6,4–33,0
По лесонарушениям	0–3,2	3,3–14,8	15,9–37,1	47,1–77,7	86,1–227,7

участка был рассчитан интегральный показатель количества аварий и количества лесонарушений соответственно. При расчетах указанного показателя учитывалось количество инцидентов по годам с учетом их весов, выбранных согласно закону экспоненциального сокращения их величины в следующем виде: в 2020 — 1,0; 2019 — 0,5; 2018 — 0,25; 2017 — 0,125; 2016 — 0,0625; 2015 — 0,03125; 2014 — 0,015625.

Второй этап. С использованием программного обеспечения GeoDA была произведена автоматическая (без обучения) кластеризация участков на основе рассчитанных значений интегрального показателя. Кластеризация осуществлялась с использованием метода k-медоидов [9] на 5 кластеров, что соответствует действующему законодательству [10], в соответствии с которым требуется выделять 5 категорий риска (табл. 1).

Третий этап. На основе результатов кластеризации были сформированы два пространственных слоя с контурами участков, где для каждого участка был определен уровень риска возникновения инцидента в соответствии с тем кластером, к которому он был отнесен на предыдущем этапе. Для обеспечения единого авторизованного доступа к результатам анализа рисков на территории лесного фонда ХМАО оба пространственных слоя были опубликованы с использованием серверного геопортального решения, указанного выше.

В результате проведенного анализа были построены две цифровые карты автономного округа с отображением 5 уровней риска аварийного разлива нефти (рис. 1) и риска лесонарушений (рис. 2) для различных территорий.

Для интерпретации полученных результатов рассчитаем количество зафиксированных за весь период аварий и лесонарушений для каждого участка рассматриваемой территории, относящейся к одному из 5 выделенных уровней риска. Дополнительно рассчитаем суммарную площадь всех территорий для каждого уровня риска и концентрацию



Рис. 2. Цифровая карта рисков лесонарушений  
Fig. 2. Digital map of forest disturbance risks

инцидентов на 100 квадратных километров. Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Из таблицы 2 видно, что для участков с высоким уровнем риска аварийного разлива нефти характерна наибольшая концентрация аварий, определяемая величиной 512/100 км<sup>2</sup>, и с уменьшением уровня риска эта концентрация снижается в 3–4 раза. Участки территории с низким уровнем риска (близким к 0) характеризуются минимальным значением концентрации аварий на 100 км<sup>2</sup> за все время наблюдений.

Анализ таблицы 3 отражает схожую ситуацию и с рисками лесонарушений — участки с высоким уровнем риска имеют наибольшую концентрацию инцидентов на уровне 3,8/100 км<sup>2</sup>, и с уменьшением степени риска их концентрация также снижается. Участки территории с низким уровнем риска характеризуются минимальным значением концентрации лесонарушений на 100 км<sup>2</sup>.

Таким образом, построенные в результате анализа цифровая карта оценки рисков аварийного разлива нефти и цифровая карта оценки рисков лесонарушений позволяют разделить территорию автономного округа на различные зоны, которые требуют различного подхода к организации и частоте контрольно-надзорных мероприятий в сфере регионального экологического контроля.

#### Итоги

Представленная методика оценки экологических рисков на территории нефтедобывающего региона, основанная на сочетании методов кластеризации и пространственного анализа данных, показала высокую эффективность при построении цифровых карт оценки рисков аварийных разливов нефти и лесонарушений. Отличительной особенностью предложенной методики является учет как количественной информации о выявленных авариях и лесонарушениях, так и данных

Таб. 2. Показатели уровней риска аварийного разлива нефти  
Tab. 2. Indicators of oil spill risk levels

Уровень риска	Количество аварий	Площадь территорий, км <sup>2</sup>	Концентрация аварий, 1/100 км <sup>2</sup>
Низкий	143	199 957	0,1
Умеренный	421	4 762	8,8
Средний	1 235	3 401	36,3
Значительный	3 539	2 373	149,2
Высокий	7 565	1 475	512,9
Итого	12 903	211 967	—

Таб. 3. Показатели уровней риска лесонарушений  
Tab. 3. Indicators of forest disturbance risk levels

Уровень риска	Количество нарушений	Площадь территорий, км <sup>2</sup>	Концентрация нарушений, 1/100 км <sup>2</sup>
Низкий	234	174 739	0,1
Умеренный	780	172 144	0,5
Средний	1 765	92 616	1,9
Значительный	1 032	43 555	2,4
Высокий	2 004	52 297	3,8
Итого	5 815	535 351	—

об их местоположении.

## Выводы

Полученные результаты предназначены для использования природоохранными службами, осуществляющими контрольно-надзорные функции на территории нефтедобывающего региона. Предложенная методика и разработанные цифровые карты представляют собой новую информационную технологию для поддержки принятия решений в сфере планирования и осуществления контрольно-надзорных мероприятий в регионах нефтедобычи.

## Литература

1. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре в 2019 году. URL: <https://prirodnadzor.adhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/4372185/2019-god-> (дата обращения 19.10.2021).
2. Senouci A., Elabbasy M., Elwakil E., Abdrabou B., Zayed T.A. Model for

- predicting failure of oil pipelines. Structure and Infrastructure Engineering, 2014. Vol. 10, issue 3, P. 375–387. (In Eng).
3. Abubakirov R., Yang M., Khakzad N. A risk-based approach to determination of optimal inspection intervals for buried oil pipelines. Process safety and environmental protection: transactions of the institution of chemical engineers, part B, 2020, Vol. 134, P. 95–107. (In Eng).
4. Guzman U., Aoyama A. Pipeline risk assessment using artificial intelligence: A case from the colombian oil network. Process safety progress, 2018, Vol. 37, issue 1, P. 110–116. (In Eng).
5. Комов В.Э., Кабалинский А.И. Обоснование повышения эффективности деятельности контрольно-надзорной деятельности на региональном уровне // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2017. № 1-1. С. 159–164.
6. Медведева С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 1. С. 67–81.

7. GeoDa. An Introduction to Spatial Data Analysis. URL: <http://geodacenter.github.io/> (дата обращения 19.10.2021).
8. NextGIS Web. URL: <https://nextgis.ru/nextgis-web/> (дата обращения 19.10.2021).
9. Kaufman L., Rousseeuw P. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. New York: John Wiley, 2005. 342 p. (In Eng).
10. О критериях отнесения производственных объектов, используемых юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к определенной категории риска для регионального государственного экологического надзора и об особенностях осуществления указанного надзора: постановление Правительства Российской Федерации от 22.11.2017 N 1410. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_283389/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/) (дата обращения 19.10.2021).

## ENGLISH

### Results

The presented methodology of environmental risk assessment in the territory of an oil-producing region, based on a combination of clustering and spatial data analysis methods, has shown high efficiency in building digital maps of oil spill and forest disturbance risk assessment. A distinctive feature of the proposed methodology is the consideration of both quantitative information on the identified accidents and forest accidents and data on their location.

### References

1. Report on the environmental situation in Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra in 2019. URL: <https://prirodnadzor.adhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/4372185/2019-god-> (accessed 19.10.2021). (In Russ).
2. Senouci A., Elabbasy M., Elwakil E., Abdrabou B., Zayed T.A. Model for predicting failure of oil pipelines. Structure and Infrastructure Engineering, 2014. Vol. 10, issue 3, P. 375–387. (In Eng).
3. Abubakirov R., Yang M., Khakzad N. A risk-based approach to determination of optimal inspection intervals for buried oil pipelines. Process safety and environmental protection: transactions of the institution

- of chemical engineers, part B, 2020, Vol. 134, P. 95–107. (In Eng).
4. Guzman U., Aoyama A. Pipeline risk assessment using artificial intelligence: A case from the colombian oil network. Process safety progress, 2018, Vol. 37, issue 1, P. 110–116. (In Eng).
5. Komov V.E., Kabalinsky A.I. Rationale for increasing the effectiveness of control and oversight activities at the regional level. Proceedings of Tula State University. Economic and legal sciences, 2017, issue 1-1, P. 159–164. (In Russ).
6. Medvedeva S.A. Ecological risk. General concepts, methods of assessment. The XXI century. Technosphere safety. 2016, issue 1, P. 67–81. (In Russ).
7. GeoDa. An Introduction to Spatial Data Analysis. URL: <http://geodacenter.github.io/>

- (дата обращения 19.10.2021). (In Eng).
8. NextGIS Web. URL: <https://nextgis.ru/nextgis-web/> (accessed: 19.10.2021). (In Russ).
9. Kaufman L., Rousseeuw P. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. New York: John Wiley, 2005. 342 p. (In Eng).
10. On the criteria for attributing production facilities used by legal entities and individual entrepreneurs that have a negative impact on the environment to a certain risk category for regional state environmental oversight and on the specifics of the implementation of the said oversight: Decree of the Government of the Russian Federation of 22.11.2017 No. 1410. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_283389/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/) (accessed 19.10.2021). (In Russ).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Кочергин Глеб Александрович**, к.т.н., руководитель центра, ЮНИИИТ, Ханты-Мансийск, Россия  
Для контактов: [kocheringa@uriit.ru](mailto:kocheringa@uriit.ru)

**Муратов Ильдар Наильевич**, главный специалист, ЮНИИИТ, Ханты-Мансийск, Россия

**Куприянов Матвей Андреевич**, главный специалист, ЮНИИИТ, Ханты-Мансийск, Россия

**Полищук Юрий Михайлович**, профессор, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, ЮНИИИТ, Ханты-Мансийск, Россия

**Kochergin Gleb Aleksandrovich**, ph.d. in physico-mathematical sciences, head of center, URIIT, Khanty-Mansiysk, Russia  
Corresponding author: [kocheringa@uriit.ru](mailto:kocheringa@uriit.ru)

**Muratov Ildar Nailievich**, chief specialist, URIIT, Khanty-Mansiysk, Russia

**Kupriyanov Matvey Andreevich**, chief specialist, URIIT, Khanty-Mansiysk, Russia

**Polishchuk Yuri Mikhailovich**, professor, sc. d. in physics and mathematics, chief researcher, URIIT, Khanty-Mansiysk, Russia