

УДК 528.946:519.237.8

ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Г. А. КОЧЕРГИН¹, И. Н. МУРАТОВ², М. А. КУПРИЯНОВ³

¹ kocheringa@uriit.ru, ² ildarmur@gmail.com, ³ kupriyanovma@uriit.ru

АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий» (ЮНИИИТ)

Поступила в редакцию 30 июля 2021 г.

Аннотация. Рассматриваются вопросы оценки экологических рисков на территории нефтедобывающего региона на основе сочетания методов кластеризации и пространственного анализа данных. Установлено, что одной из главных экологических проблем нефтедобывающих регионов является негативное воздействие нефтедобычи и транспортировки углеводородного сырья на лесной фонд. Предложена методика оценки экологических рисков с применением алгоритмов кластеризации исторических данных об экологических нарушениях. Используются данные по аварийности на промысловых нефтепроводах и данные о лесонарушениях на территории Ханты-Мансийского автономного округа за период с 2014 по 2020 годы. Для каждого инцидента были определены местоположение и дата, что позволило провести пространственный анализ данных на участках определенной площади за весь рассматриваемый отрезок времени. Всего, за указанный период было выбрано 12 903 записи об авариях на нефтепроводах и 5 815 записей о лесонарушениях. Кластеризация данных осуществлялась с использованием метода k-медоидов на 5 кластеров, что соответствует 5 категориям риска, установленных законодательством. Результатом анализа рисков являются цифровые карты, отображающие 5 уровней риска аварийного разлива нефти и риска лесонарушений. Построенные в результате анализа цифровые карты оценки рисков аварийных разливов нефти и лесонарушений позволяют разделить территорию нефтедобывающего региона на различные зоны, которые требуют различного подхода к организации и частоте контрольно-надзорных мероприятий в сфере регионального экологического контроля. Разработанные цифровые карты опубликованы в сети Интернет с обеспечением авторизованного доступа и используются контрольно-надзорными ведомствами региона при планировании выездных мероприятий.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход; имитационная модель; пространственный анализ; методы кластеризации; геоинформационные системы; аварийные разливы нефти.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с необходимостью внедрения риск-ориентированного подхода при осуществлении контрольно-надзорной деятельности региональными органами государственной власти, обусловленной принятием

соответствующего федерального закона [1], возникает задача разработки методики для отнесения объектов или субъектов контроля к определенной категории риска. Правительством РФ разработаны общие правила определения категорий рисков [2–4], кото-

рые, тем не менее, не являются универсальными для таких видов контроля, как, например, региональный экологический контроль, где объектом контроля является участок территории, а не юридическое лицо как таковое. Более того, поставленная в сфере регионального экологического контроля задача должна решаться отдельно для каждого субъекта РФ, исходя из специфики хозяйственной деятельности, выявленных экологических рисков, а также накопленной информации об экологическом состоянии окружающей среды и зафиксированных негативных процессах или явлениях.

Одной из главных экологических проблем нефтедобывающих северных регионов является негативное воздействие нефтедобычи и транспортировки углеводородного сырья на лесной фонд. Здесь следует выделить два основных вида рисков. Во-первых, это риски загрязнения земель лесного фонда вследствие аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [5]. Во-вторых, это риски различных нарушений в сфере лесопользования, в том числе незаконная вырубка лесных насаждений. Исследования в данной работе проводятся на примере территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, являющегося лидером среди российских нефтедобывающих регионов. По данным Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (Природнадзор Югры) ежегодно фиксируется несколько сотен подобных инцидентов, ущерб от которых исчисляется миллионами рублей [5].

Обзор методических документов [6, 7], регламентирующих оценку риска аварий на магистральных и промысловых нефтепроводах показал, что оценка риска производится отдельно для каждого километра нефтепровода, с учетом его характеристик, интенсивности эксплуатации и условий внешней среды. Применение указанных методик для анализа риска аварий вызывает определенные сложности применительно к территориальным условиям ХМАО, где сеть трубопроводов представляет собой сильно разветвленную структуру, а их общая протяжен-

ность по состоянию на 2019 год составляет более 114 тыс. км [5].

Особенностями российских нефтедобывающих регионов являются достаточно обширные территории и относительно слабо развитая 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 и средств риск-анализа [8, 9]. 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. Изложение методических вопросов разработки такого подхода и полученных результатов и является целью данной работы.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований в настоящей работе использовались данные, накопленные в региональной информационной системе «Автоматизированная информационная система контрольно-надзорной деятельности» (АИС КНД) [10], 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 геоинформационных систем (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 [11]. Для картографирования рисков аварийных разливов нефти и рисков лесонарушений в регионе использована серверная геоинформационная система NextGIS Web [12], 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 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 [13] на 5 кластеров, что соответствует действующему законодательству [14], в соответствии с которым требуется выделять 5 категорий риска. Пределы изменения интегрального показателя по полученным кластерам приведены в 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 Ханты-Мансийского автономного округа оба пространственных слоя были опубликованы на геопортале [15], в сети интернет.

РЕЗУЛЬТАТЫ

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.

Таблица 1

Пределы изменения интегрального показателя по кластерам

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

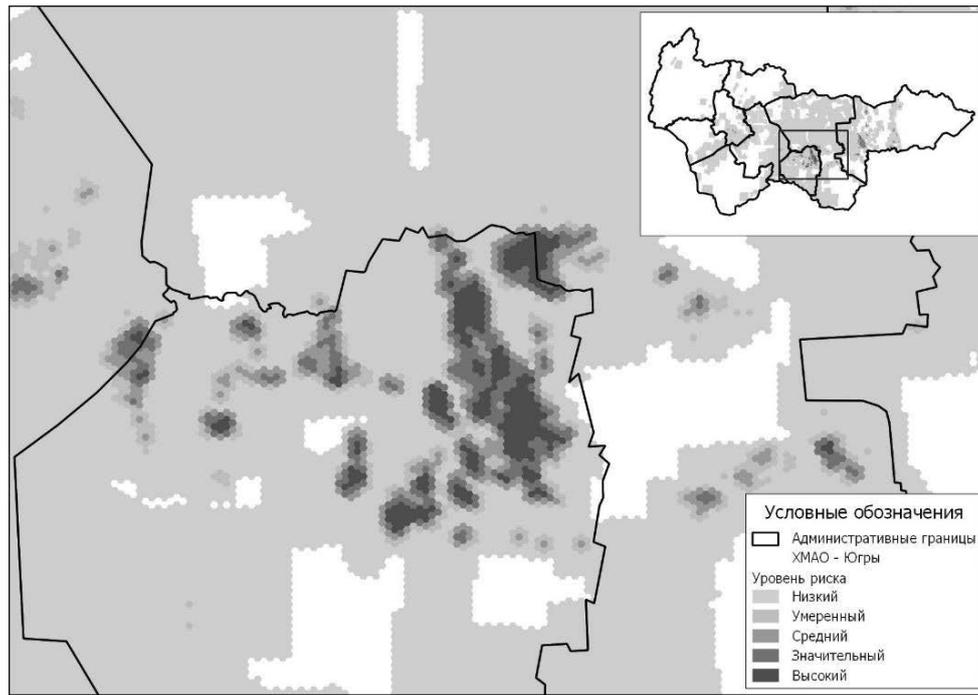


Рис. 1. Цифровая карта оценки рисков аварийных разливов нефти на территории Ханты-Мансийского автономного округа

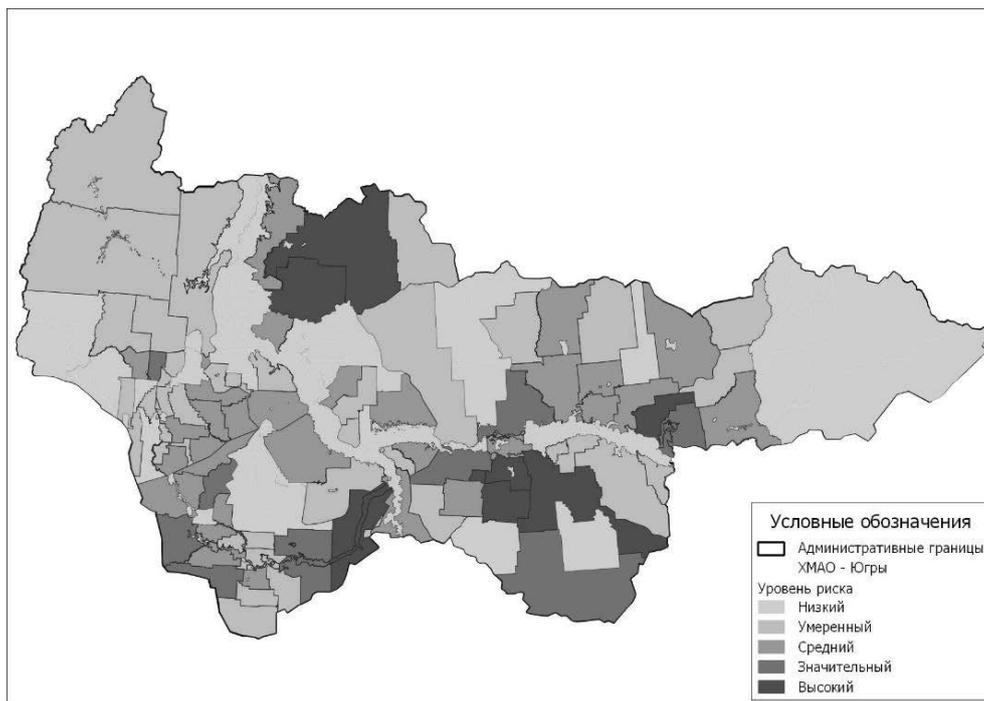


Рис. 2. Цифровая карта оценки рисков лесонарушений на территории Ханты-Мансийского автономного округа

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

Таблица 2

Показатели уровней риска аварийного разлива нефти

<i>Уровень риска</i>	<i>Количество аварий</i>	<i>Площадь территорий, км²</i>	<i>Концентрация аварий, 1/100 км²</i>
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	–

Таблица 3

Показатели уровней риска лесонарушений

<i>Уровень риска</i>	<i>Количество аварий</i>	<i>Площадь территорий, км²</i>	<i>Концентрация нарушений, 1/100 км²</i>
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	–

Из табл. 2 видно, что для участков с высоким уровнем риска аварийного разлива нефти характерна наибольшая концентрация аварий, определяемая величиной 512/100 км², 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 км² за все время наблюдений.

Анализ табл. 3 отражает схожую ситуацию и с рисками лесонарушений – участки с высоким уровнем риска имеют наибольшую концентрацию инцидентов на уровне 3,8/100 км², и с уменьшением степени риска их концентрация также снижается. Участки территории с низким уровнем риска характеризуются минимальным значением концентрации лесонарушений на 100 км².

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена методика оценки экологических рисков, основанная на совместном использовании методов кластеризации и пространственного анализа данных, которая позволяет построить цифровую карту оценки рисков аварийных разливов нефти и рисков лесонарушений на территории нефтедобывающего региона. Отличительной особенностью предложенной методики является учет как количественной информации о выявленных авариях и лесонарушениях, так и данных об их местоположении. Это позволило построить цифровую карту региона, разделяющую территорию на зоны

с различным уровнем риска аварий и лесонарушений. Установлено, что суммарная площадь зон с высоким уровнем риска аварий на территории ХМАО-Югры, составляющая всего 1 475 км², вмещает более половины (58 %) всех зафиксированных инцидентов. Анализ оценки рисков лесонарушений позволил выявить 8 урочищ, риски возникновения лесонарушений в которых наибольшие. Данные участки расположены на территориях интенсивной нефтедобычи, что в свою очередь указывает на сильную связь между рассматриваемыми в данной работе экологическими рисками для региона.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнялась в рамках государственного задания Департамента информационных технологий и цифрового развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 2020–2021 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федеральный закон** от 13.07.2015 № 246 ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля»». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182622/ (дата обращения 15.01.2021). [Federal Law of 13.07.2015 № 246-FZ “On Amendments to the Federal Law “On the protection of the rights of legal persons and individual entrepreneurs in the exercise of state control (supervision) and municipal control””, (2021, Jan. 15). [Online]. Available: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182622/]
2. **Постановление** Правительства РФ от 17.08.2016 № 806 (ред. от 21.03.2019) «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (вместе с «Правилами отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности»). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_203819/ (дата обращения 15.01.2021). [Resolution of the Government of the Russian Federation of 17.08.2016 № 806 (ed. from 21.03.2019) “On application of risk-oriented approach in organization of certain types of state control (supervision) and amendments to some acts of the Government of the Russian Federation” (together with “Rules of attributing activities of legal entities and individual entrepreneurs and (or) production facilities they use to a certain category of risk or a certain class (category) of hazard”), (2021, Jan. 15). [Online]. Available: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_203819/]
3. **Постановление** Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 (ред. от 07.10.2021) «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consul-tant.ru/document/cons_doc_LAW_373399/ (дата обращения 15.01.2021). [Decree of the Government of the Russian Federation from 31.12.2020 № 2398 (ed. from 07.10.2021) “On approval of criteria for attribution of facilities with negative impact on the environment, to facilities of I, II, III and IV categories”, (2021, Jan. 15). [Online]. URL: http://www.con-sultant.ru/document/cons_doc_LAW_373399/]
4. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2017 г. № 1410 «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». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения 15.01.2021). [Decree of the Government of the Russian Federation of November 22, 2017 № 1410 “On criteria for attributing production facilities used by legal entities and individual entrepreneurs that have a negative impact on the environment, to a particular risk category for regional state environmental supervision and on peculiarities of this supervision”, (2021, Jan. 15). [Online]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/]
5. **Доклад** об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2019 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/4372185/2019-god-> (дата обращения 15.01.2021). [Report on the environmental situation in Khanty-Mansi Autonomous Okrug - Yugra in 2019, (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/4372185/2019-god->]
6. **Методические** рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов (утв. Приказом Ростехнадзора от 17.06.2016 № 228). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456007201?marker=7D20K3> (дата обращения 15.01.2021). [Methodological recommendations on the quantitative analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities of main oil pipelines and oil product pipelines (approved by Order of Rostekhnadzor from 17.06.2016 № 228), (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/456007201?marker=7D20K3>]
7. **Методика** анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи (утв. Приказом Ростехнадзора от 17.08.2015 № 317). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124162?marker=7D20K3> (дата обращения 15.01.2021). [Methodology for Analyzing the Risk of Accidents at Hazardous Production Facilities of Oil and Gas Production (approved by Order of Rostekhnadzor of 17.08.2015 № 317), (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/1200124162?marker=7D20K3>]
8. **Комов В. Э., Кабалянский 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. [V. J. Kozov, A. I. Kabalinskij, "Rationale for increasing the effectiveness of control and supervisory activities at the regional level", (in Russian), in *Izvestiya Tulkogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki*, no. 1-1, pp. 159-164, 2017.]

9. **Медведева С. А.** Экологический риск. Общие понятия, методы оценки // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 1. С. 67–81. [S. A. Medvedeva, "Ecological risk. General concepts, methods of assessment", (in Russian), in *XXI vek. Tehnosfernaya bezopasnost'*, no. 1, pp. 67-81, 2016.]

10. **АИС КНД** – статистика осуществления государственного контроля (надзора) в ХМАО. [Электронный ресурс]. URL: <http://stats.control-nadzor.ru/> (дата обращения 15.01.2021). [AIS KND - statistics of state control (supervision) in Khanty-Mansi Autonomous Okrug (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <http://stats.control-nadzor.ru/>]

11. **GeoDa**. An Introduction to Spatial Data Analysis. [Электронный ресурс]. URL: <http://geodacenter.github.io/> (дата обращения 15.01.2021). [GeoDa. An Introduction to Spatial Data Analysis (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <http://geodacenter.github.io/>]

12. **NextGIS Web**. [Электронный ресурс]. URL: <https://nextgis.ru/nextgis-web/> (дата обращения 15.01.2021). [NextGIS Web (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <https://nextgis.ru/nextgis-web/>]

13. **Kaufman L., Rousseeuw P.** Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. New York: John Wiley, 2005. 342 p.

14. **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 № 1410. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/ (дата обращения 15.01.2021). [On the criteria for attributing production facilities used by legal entities and individual entrepreneurs, having a negative impact on the environment, to a certain risk category for regional state environmental supervision and on the specifics of the implementation of the said supervision: the Russian Federation Government Decree of 22.11.2017 № 1410, (2021, Jan. 15). [Online]. Available: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/]

15. **ГИС подсистема ЦКУ**. [Электронный ресурс]. URL: <https://vis.uriit.ru/> (дата обращения 15.01.2021). [GIS sub-system of SSC (2021, Jan. 15). [Online]. Available: <https://vis.uriit.ru/>]

ОБ АВТОРАХ

КОЧЕРГИН Глеб Александрович, канд. техн. наук.

МУРАТОВ Ильдар Наильевич, магистр экологии и природопользования.

КУПРИЯНОВ Матвей Андреевич, магистр экологии и природопользования.

METADATA

Title: Assessment and Mapping of Environmental Risks in the Information System of an Oil-Producing Region.

Authors: G. A. Kochergin¹, I. N. Muratov², M. A. Kupriyanov³

Affiliation: Ugra Research Institute of Information Technologies (URIIT), Russia.

Email: ¹koherginga@uriit.ru, ²ildarmur@gmail.com, ³kupriyanovma@uriit.ru

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 3, no. 3 (7), pp. 65-71, 2021. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: The issues of assessment of environmental risks in the territory of oil producing region based on a combination of methods of clustering and spatial analysis of data are considered. It is established that one of the major environmental problems of oil producing regions is the negative impact of oil production and transportation of hydrocarbon raw materials on the forest fund. A methodology for assessing environmental risks using algorithms of clustering of historical data on environmental violations has been proposed. We used data on accidents at oil field pipelines and data on forest disturbances on the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug for the period from 2014 to 2020. The location and date were determined for each incident, which allowed a spatial analysis of the data in the areas of a certain area for the entire period of time under consideration. A total of 12,903 oil pipeline accident records and 5,815 forest disturbance records were selected for this period. The data were clustered using the k-medoid method into 5 clusters, which corresponds to the 5 categories of risk established by the legislation. The results of the risk analysis are numerical maps showing the 5 levels of oil spill risk and forest disturbance risk. Numerical maps of oil spill and forest disturbance risk assessment built as a result of the analysis allow to divide the oil producing region territory into different zones which require different approach to organization and frequency of control and supervisory activities in the sphere of regional environmental control. The developed digital maps have been published on the Internet with authorized access and are used by the control and supervisory agencies of the region when planning on-site activities.

Key words: risk-based approach; simulation model; spatial analysis; clustering methods; geographic information systems; oil spills.

About authors:

KOCHERGIN, Gleb Alexandrovich, Cand. of Tech. Sci.

MURATOV, Ildar Nailevich, Master's degree in Ecology and Environmental Management.

KUPRIYANOV, Matvey Andreevich, Master's degree in Ecology and Environmental Management.