

Реализация имитационной модели оценки экологического риска на территории нефтедобычи

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10071

Г.А. Кочергин
к.т.н, руководитель Центра космических услуг
Kocheringa@uriit.ru

А.В. Якимчук
старший программист Центра информационно-аналитических систем
AV_Yakimchuk@mail.ru

М.А. Куприянов
главный специалист Центра космических услуг
kupriyanovma@spambot.ru

АУ "Югорский НИИ информационных технологий", Ханты-Мансийск, Россия

Представлены результаты разработки имитационной модели для оценки экологического риска изменения состояния территории лесного фонда в Ханты-Мансийском автономном округе с использованием разнородных многомерных данных о произошедших на нефтепроводах авариях в 2010-2018 гг. В основе разработанной модели лежат методы машинного обучения, которые позволяют определить степень риска возникновения повторных аварийных ситуаций на территории лицензионных участков, и методы геоинформационного анализа, которые используются для построения цифровой карты рисков негативного воздействия на земли лесного фонда. Имитационная модель, представленная в виде интерактивной цифровой карты региона, позволяет выявить территории с наибольшим экологическим риском. Достоверность обсуждаемых результатов подтверждена проведенными численными экспериментами

Материалы и методы
Методы машинного обучения, методы пространственного анализа, геоинформационные технологии, риск-ориентированный подход.

Ключевые слова
риск-ориентированный подход, экологические риски, нейронные сети, машинное обучение, геоинформационный анализ, ГИС-технологии

Введение

Одной из ключевых экологических проблем таких крупных нефтедобывающих регионов, как Ханты-Мансийский автономный округ, является загрязнение земель вследствие аварийных разливов нефти и нефтепродуктов при их транспортировке по трубопроводным системам [1, 2]. В результате разлива нефтесодержащей жидкости наносится значительный урон землям лесного фонда и водно-болотным угодьям, что требует принятия незамедлительных мер по устранению причин и проведению рекультивационных работ на указанных экосистемах. Выявление подобных инцидентов с целью расчета ущерба нанесенного окружающей среде является одной из основных задач контрольно-надзорных органов автономного округа, осуществляющих свои полномочия в сфере экологической безопасности региона. Однако огромная и зачастую труднодоступная территория, а также слабо развитая коммуникационная инфраструктура региона существенно затрудняют своевременный контроль за экологическим состоянием окружающей среды, что требует внедрения принципиально новых подходов к осуществлению плановых и внеплановых выездных контрольно-надзорных мероприятий [3].

В настоящее время в Российской Федерации ведется активная работа над внедрением риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля (надзора) в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, как наиболее перспективного с точки зрения его эффективности и затрат. В 2015 г. с принятием федерального закона [4] были утверждены основные цели и правила такого подхода. Годом позже постановлением Правительства Российской Федерации [5] утвержден перечень видов федерального государственного контроля (надзора), в отношении которых

применяется риск-ориентированный подход, в который включен и государственный экологический надзор. Также был принят ряд нормативно-правовых актов [6–8], устанавливающих критерии для категоризации объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, и соответствующие им риски, а также базовую модель и типовой перечень показателей результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности.

Одновременно с нормотворчеством проводились научные изыскания и разработка новых методов и технологий в сфере управления рисками для решения задач мониторинга, оценки и прогнозирования экологических рисков [9–11]. В работах [12, 13] систематизированы основные понятия риск-ориентированного подхода к контрольно-надзорной деятельности, представлены различные методы оценки рисков и предложена целевая модель риск-ориентированного подхода при осуществлении государственного контроля. В [14] авторами предлагается новый подход к организации процесса анализа и мониторинга экологических рисков в условиях нечеткости, в основе которого лежит качественный анализ экологических рисков, выполняемый экспертными методами с использованием ГИС-технологий.

Не смотря на достаточно глубокую разработку и разнообразие методологий управления рисками, в том числе экологическими, методические вопросы внедрения риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности региональных органов государственной власти в настоящее время не разработаны. В связи с этим целью данной работы является разработка имитационной модели оценки экологического риска аварийного разлива нефти на территории интенсивной нефтедобычи на основе нейросетевой модели и представление ее в виде цифровой карты с использованием

ГИС-технологий. Указанный вид экологического риска является одним из наиболее существенных с точки зрения ущерба для окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.

Имитационная модель оценки экологического риска

Предлагаемая нами имитационная модель оценки экологического риска реализуется алгоритмическими методами в виде определенного набора программных модулей, использование которых позволяет построить цифровую карту, на которой отображены риски аварийных разливов нефти на лицензионных участках. Для реализации имитационной модели используются методы машинного обучения и методы пространственного (геоинформационного) анализа данных. Методы машинного обучения основаны на создании, обучении и последующем использовании нейронной сети, которая позволяет обрабатывать большие объемы разнородной информации об объектах исследования. Методы геоинформационного анализа данных используются для учета пространственных свойств объектов исследования. Общая последовательность этапов построения цифровой карты в рамках разрабатываемого риск-ориентированного подхода:

- 1) предварительная обработка исходных данных;
- 2) пространственный анализ данных;
- 3) анализ данных с использованием методов машинного обучения;
- 4) представление результатов анализа средствами геоинформационных систем.

Для создания карты экологических рисков нами используется информация, накопленная в Службе по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (Природнадзор Югры) с 2010 г. по настоящее время, а также результаты дешифрирования космических снимков территории автономного округа. Имеющуюся выборку данных объемом более 17 тыс. записей по 83 параметрам, можно разделить на две категории:

- пространственная и атрибутивная информация о ранее произошедших инцидентах (авариях);
- пространственная информация о техногенных объектах, в том числе близлежащих населенных пунктах и транспортной инфраструктуре.

Компоненты реализации имитационной модели

Для автоматизации процессов обработки и анализа информации в рамках реализации представленной имитационной модели разработаны следующие программные модули (компоненты):

- компонент сбора данных предназначен для агрегирования исходных данных о фактических экологических нарушениях, произошедших на территории округа, а также результатах дешифрирования космических снимков, на которых имеется информация о произошедших инцидентах. Все данные в необработанном виде хранятся в хранилище данных и при загрузке нового массива данных они добавляются к имеющейся информации;

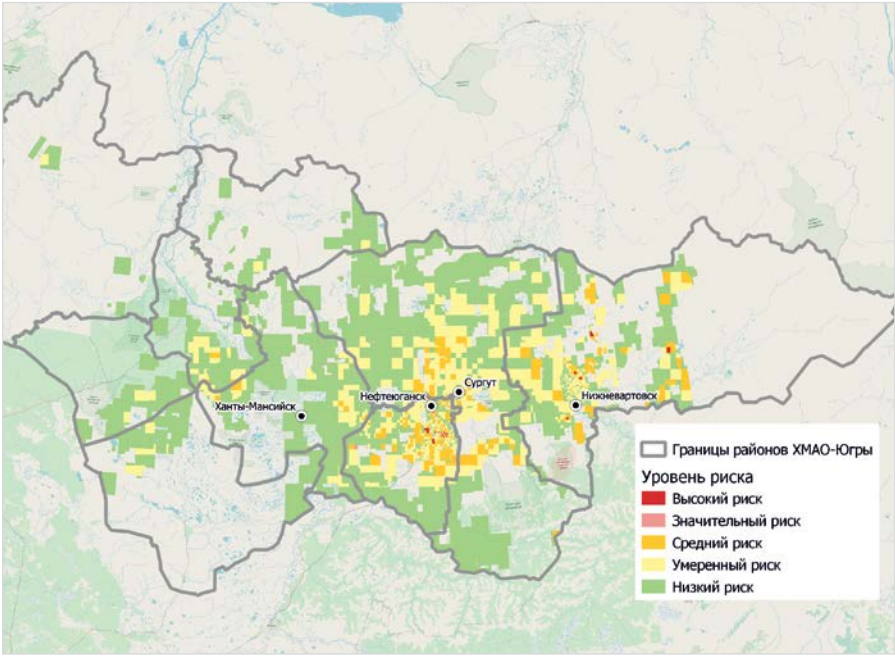


Рис. 2 — Цифровая карта экологического риска
Fig. 2 — Ecological risk digital map

- компонент очистки и трансформации данных реализует функции предварительной обработки исходной информации с целью подготовки массива данных, пригодного для дальнейшего анализа методами машинного обучения и пространственного анализа. Здесь проводится нормализация числовых данных, исправление ошибок пространственной привязки данных, удаление дублирующихся объектов и объектов без привязки к местности. Предварительно обработанные данные также накапливаются в хранилище данных;
- компонент конструирования и выбора ключевых признаков позволяет провести анализ всех имеющихся признаков и выбрать из них ключевые, имеющие наибольший вес для использования методов машинного обучения;
- в компоненте нейросетевой модели рисков реализована многослойная (4 слоя) нейронная сеть, а также функции для ее обучения на основе предварительно обработанного массива данных с наиболее весомыми ключевыми признаками;
- компонент оценки качества позволяет провести оценку достоверности реализованной нейросетевой модели с использованием метода кросс-валидации по k-блокам [15, 16] на основе тестовой выборки данных. Для проверки достоверности нейронной сети был проведен численный эксперимент с использованием указанного метода. По результатам численного эксперимента показано, что достоверность результатов анализа, полученных с использованием разработанной нейронной сети составляет 91,5%;
- компонент визуализации, реализованный с использованием геоинформационных технологий, позволяет создать и отобразить цифровую карту с рассчитанными значениями уровня рисков для соответствующих участков на исследуемой территории. Общая схема потоков данных и последовательность применения описанных выше

компонентов для построения цифровой карты оценки экологических рисков представлена на рис. 1.

Использование имитационной модели

В соответствии с [7] принято выделять следующие пять категорий риска для регионального государственного экологического надзора: высокий, значительный, средний, умеренный и низкий, для каждого из которых устанавливается своя очередность плановых проверок. С учетом данной категоризации рисков, разработанные нами программные модули позволяют построить цифровую карту и рассчитать значения степени риска для каждого из 402 лицензионных участков, расположенных в границах Ханты-Мансийского автономного округа, а также отнести их к одному из 5 классов в зависимости от категории риска. Так как площадь лицензионного участка может составлять несколько сотен квадратных километров, то лицензионные участки с высоким уровнем риска были разделены на более мелкие участки квадратной формы размером 2х2 км, для каждого из которых было рассчитано новое значение степени риска. Лицензионные участки с значительным, средним и умеренным риском также были разделены на участки размером 4х4 км, 8х8 км и 16х16 км соответственно для пересчета степени риска. Лицензионные участки, отнесенные к классу с низким уровнем риска, не подвергались дальнейшему более детальному анализу.

Построенная в результате работы цифровой карты экологического риска аварийного разлива нефти с использованием разработанной имитационной модели, представлена на рис. 2. Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что в Ханты-Мансийском автономном округе высокий риск аварийного разлива нефти определен для нескольких участков общей площадью 128 кв. км, расположенных на Мамонтовском, Южно-Балыкском и Тепловском лицензионных участках.

Рис. 1 — Схема обработки данных для оценки экологических рисков
Fig. 1 — Data processing scheme for ecological risk assessment

Итоги

В статье представлен новый подход к осуществлению контрольно-надзорной деятельности при осуществлении регионального экологического надзора, основанный на использовании имитационной модели, позволяющей построить цифровую карту экологического риска загрязнения земель лесного фонда нефтью и нефтепродуктами. Путем анализа разнородных данных были рассчитаны риски негативного воздействия на территорию Ханты-Мансийского автономного округа, и локализованы участки, относящиеся к наивысшей категории риска. Представленные в работе результаты будут использоваться для планирования контрольно-надзорных мероприятий инспекторским составом Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-860003

Выводы

В Ханты-Мансийском автономном округе высокий риск аварийного разлива нефти определен для нескольких участков общей площадью 128 кв. км, расположенных на Мамонтовском, Южно-Балыкском и Тепловском лицензионных участков. Показано, что достоверность разработанной нейросетевой модели, применяемой для оценки рисков аварийных разливов нефти, составляет 91,5%.

Литература

1. Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2018 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/2876367/2018-god> (дата обращения 11.10.2019).

2. Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2017 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/1815795/2017-god> (дата обращения 11.10.2019).

admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/1815795/2017-god (дата обращения 11.10.2019).

3. 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.

4. Федеральный закон от 13.07.2015 N 246-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля".

5. Постановление Правительства РФ от 17.08.2016 N 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").

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2015 г. № 1029 "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий".

7. 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".

8. Распоряжение Правительства РФ от 17.05.2016 № 934-р (ред. от 27.04.2018)

"Об утверждении основных направлений разработки и внедрения системы оценки результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности".

9. Кузнецова Т.И., Плюснин В.М. Геоинформационное ландшафтное картографирование для обеспечения управления экологическим риском Байкальского региона // Материалы международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС». 2016. Т.1. №20. С. 318–327.

10. Бескид П.П., Силин П.И. Использование метода анализа иерархий для оценки информационных рисков в ГИС предприятий-перевозчиков бытовых отходов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. №40. С. 276–283.

11. Большагин А.Ю. и др. Риск-ориентированный подход к ранжированию водных объектов и территорий субъектов Российской Федерации по степени опасности для населения // Технологии гражданской безопасности. 2017. Т.14. №2 (52). С. 96–98.

12. Чаплинский А.В., Плаксин С.М. Управление рисками при осуществлении государственного контроля в России // Вопросы государственного и муниципального управления. 2016. №2. С. 7–29.

13. Авдийский В.И., Безденежных В.М., Катаева Е.Г. Управление рисками как ключевой элемент обеспечения реализации риск-ориентированного подхода в деятельности хозяйствующих субъектов // Экономика. Налоги. Право. 2017. №6. С. 6–15.

14. Акинина Н.В., Псоянц В.Г., Колесенков А.Н., Таганов А.И. Теория и практика применения нечетких сетей Петри для мониторинга экологических рисков // Вестник Томского государственного университета. 2017. №41. С. 4–11.

15. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Stanford: Springer, 2014, 745 p.

16. Refaeilzadeh P., Tang L., Liu H. Cross Validation. Encyclopedia of Database Systems. New York: Springer, 2009, 4355 p.

ENGLISH	ECOLOGY
---------	---------

UDC 504.06

Simulation model`s implementation for environmental risk assessment in the oil production territory

Authors
Gleb A. Kochergin — Ph.D., head of Space services center; Kocherginga@uriit.ru
Alexander V. Yakimchuk — senior programmer at Information and analytical systems center; AV_Yakimchuk@mail.ru
Matvey A. Kupriyanov — chief specialist, Space services center; kupriyanovma@spambox.ru

Autonomous Institution "Ugra Research Institute of Information Technologies", Khanty-Mansiysk, Russian Federation

Abstract

The results of the development of a simulation model for assessing the environmental risk of changes in the state of the forest fund in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug using heterogeneous multidimensional data on accidents in oil pipelines in 2010–2018 are presented. The developed model is based on machine learning methods that allow to determine the degree of risk of repeated emergencies in the

license areas, and geoinformation analysis methods that are used to build a digital map of the risks of negative impacts on forest lands. Presented as an interactive digital map of the region, the simulation model allows to identify the territories with the highest environmental risk. The reliability of the results discussed is confirmed by numerical experiments.

Materials and methods

Machine learning methods, spatial analysis

methods, geoinformation technologies, risk-based approach.

Keywords

risk-based approach, environmental risks, neural networks, machine learning, geoinformation analysis, GIS technologies

Results

The article presents a new approach to the implementation of control and

supervisory activity in the implementation of regional environmental supervision. It's based on the use of a simulation model that allows you to build a digital map of the ecological risk of forest land pollution with oil and oil products. By analyzing heterogeneous data, the risks of negative impact on the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug were

References

1. *Ob ekologicheskoy situatsii v Khanty-Mansiyskom avtonomnom okruge – Yugre v 2018 godu* [On the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra in 2018] Available at: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/2876367/2018-god> (accessed 11 October 2019).

2. *Ob ekologicheskoy situatsii v Khanty-Mansiyskom avtonomnom okruge – Yugre v 2017 godu* [On the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra in 2017] Available at: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/1815795/2017-god> (accessed 11 October 2019)

3. Komov V.E., Kabalinskiy A.I. *Obosnovanie povysheniya effektivnosti deyatel'nosti kontrol'no-nadzornoй deyatel'nosti na regional'nom urovne* [The rationale for improving the effectiveness of control and supervision activities at the regional level]. Bulletin of Tula State University. Economic and legal sciences, 2017, issue 1-1, pp. 159–164.

4. *Federal'nyy zakon ot 13.07.2015 N 246-FZ "O vnesenii izmeneniy v Federal'nyy zakon "O zashchite prav yuridicheskikh lits i individual'nykh predprinimateley pri osushchestvlenii gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) i munitsipal'nogo kontrolya"* [Federal Law of July 13, 2015 N 246 "On Amending the Federal Law" On the Protection of the Rights of Legal Entities and Individual Entrepreneurs in the Implementation of State Control (Supervision) and Municipal Control"]

5. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17.08.2016 N 806 (red. ot 21.03.2019) "O primenenii risk-orientirovannogo podkhoda pri organizatsii otdel'nykh vidov gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) i vnesenii izmeneniy v nekotorye akty Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii" (vmeste s "Pravilami otneseniya deyatel'nosti yuridicheskikh lits i individual'nykh predprinimateley i (ili) ispol'zuemykh imi proizvodstvennykh ob"ektov k opredelennoy kategorii riska ili opredelennomu klassu (kategorii) opasnosti")* [Decree of the Government of the Russian Federation of

calculated, and areas belonging to the highest risk category were localized. The results presented in this article will be used for planning control and supervisory activity by the inspectorial staff of the Service for Control and Supervision of environmental protection, wildlife and forest relations of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra.

August 17, 2016 N 806 (as amended on March 21, 2019) "On the application of a risk-based approach to the organization of certain types of state control (supervision) and amendments to some acts of the Government of the Russian Federation" (together with the "Rules for classifying activities) legal entities and individual entrepreneurs and (or) production facilities used by them to a certain risk category or a certain hazard class (category)").

6. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28 sentyabrya 2015 g. № 1029 "Ob utverzhdenii kriteriev otneseniya ob"ektov, okazyvayushchikh negativnoe vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu, k ob"ektam I, II, III i IV kategoriy"* [Decree of the Government of the Russian Federation of September 28, 2015 No. 1029 "On approval of the criteria for classifying objects that have a negative impact on the environment, to objects of categories I, II, III and IV"].

7. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22 noyabrya 2017 g. № 1410 "O kriteriyakh otneseniya proizvodstvennykh ob"ektov, ispol'zuemykh yuridicheskimi litsami i individual'nyimi predprinimateley, okazyvayushchikh negativnoe vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu, k opredelennoy kategorii riska dlya regional'nogo gosudarstvennogo ekologicheskogo nadzora i ob osobennostyakh osushchestvleniya ukazannogo nadzora"* [Decree of the Government of the Russian Federation of November 22, 2017 No. 1410 "On the criteria for classifying 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 supervision and on the peculiarities of the specified supervision"].

8. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17.05.2016 № 934-r (red. ot 27.04.2018) "Ob utverzhdenii osnovnykh napravleniy razrabotki i vnedreniya sistemy otsenki rezul'tativnosti i effektivnosti kontrol'no-nadzornoй deyatel'nosti"* [Order of the Government of the Russian Federation of 05.17.2016 No. 934-r (as amended on 04/27/2018) "On approval of the main directions of development and implementation of a system for assessing the effectiveness and efficiency of control and supervision activities"].

9. Kuznetsova T.I., Plyusnin V.M. *Geoinformatsionnoe landshaftnoe kartografirovaniye dlya obespecheniya*

Conclusions

In the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, a high risk of accidental oil spill is identified for several regions with a total area of 128 sq. km, located on Mamontovsky, Yuzhno-Balyksky and Teplovsky license areas. It is shown that the reliability of the developed neural network model used to assess the risks of accidental oil spills is 91.5%.

upravleniya ekologicheskim riskom Baykal'skogo regiona [Geoinformational landscape mapping to ensure environmental risk management of the Baikal region]. International Conference "InterCarto / InterGIS", 2016, vol. 1, issue 20, pp. 318–327.

10. Beskid P.P., Silin P.I. *Ispol'zovanie metoda analiza ierarkhiy dlya otsenki informatsionnykh riskov v GIS predpriyatiy-perevozchikov bytovykh otkhodov* [Using the hierarchy analysis method for assessing information risks in GIS of enterprises transporting household waste]. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University, 2015, issue 40, pp. 276–283.

11. Bol'shagin A.Yu. and oth. *Risk-orientirovanny podkhod k ranzhirovaniyu vodnykh ob"ektov i territoriy sub"ektov Rossiyskoy Federatsii po stepeni opasnosti dlya naseleniya* [A risk-based approach to ranking water bodies and territories of constituent entities of the Russian Federation by hazard level for the population]. Civil Security Technologies, 2017, vol. 14, issue 2 (52), pp. 96–98.

12. Chaplinskiy A.V., Plaksin S.M. *Upravlenie riskami pri osushchestvlenii gosudarstvennogo kontrolya v Rossii* [Risk management in the implementation of state control in Russia]. Issues of state and municipal administration, 2016, issue 2, pp. 7–29.

13. Avdiyskiy V.I., Bezdenezhnykh V.M., Kataeva E.G. *Upravlenie riskami kak klyuchevoy element obespecheniya realizatsii risk-orientirovannogo podkhoda v deyatel'nosti khozyaystvuyushchikh sub"ektov* [Risk management as a key element in ensuring the implementation of a risk-based approach in the activities of business entities] Economics. Taxes. Right, 2017, issue 6, pp. 6–15.

14. Akinina N.V., Psoyants V.G., Kolesenkov A.N., Taganov A.I. *Teoriya i praktika primeneniya nechetkikh setey Petri dlya monitoringa ekologicheskikh riskov* [Theory and practice of using fuzzy Petri nets for monitoring environmental risks] Bulletin of Tomsk . State University, 2017, issue 41, pp. 4–11.

15. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Stanford: Springer, 2014, 745 p.

16. Refaeilzadeh P., Tang L., Liu H. Cross Validation. Encyclopedia of Database Systems. New York: Springer, 2009, 4355 p.