

УДК 004.9

DOI: [10.26102/2310-6018/2019.27.4.044](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.044)

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

К.А. Федутинов

Воронежский государственный университет,

Воронеж, Россия

e-mail: fedutinovv@gmail.com

Резюме: В статье рассматриваются вопросы разработки управленческих решений по улучшению состояния окружающей среды на основе внедрения геоинформационных технологий, включающих методы оценки и прогнозирования экологической ситуации на основе мониторинговых подходов. Развитие технологий обработки больших данных определило тенденции широкого внедрения систем мониторинга, функционирующих в реальном времени. В связи с этим, задачу мониторинга природных объектов предлагается решать как задачу определения и контроля свойств и состояний сложного объекта в режиме реального времени и активного взаимодействия с окружающей средой, а также выработки управленческих решений и рекомендаций. В качестве математического аппарата для структуризации экологической информации предлагается использовать нейронную сеть Fuzzy ART, хорошо зарекомендовавшую себя при обработке данных в режиме реального времени. Для визуализации получаемой информации и интеграции результатов работы сети Fuzzy ART в геоинформационную систему предлагается использовать Python-библиотеку Folium, предназначенную для графического отображения географических данных, и содержащую всю необходимую картографическую информацию. С помощью Folium результаты структуризации экологических данных можно изображать непосредственно на Google-картах, что дает возможность при увеличении масштаба карты визуально определять границы кластеров и возможные буферные зоны.

Ключевые слова: нейронная сеть, кластеризация, машинное обучение, теория адаптивного резонанса, сеть Fuzzy ART, ГИС-система.

Для цитирования: К.А. Федутинов. Структуризация экологической информации с применением геоинформационных технологий. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2019;7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/Fedutinov_4_19_1.pdf
DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.044

STRUCTURIZATION OF ENVIRONMENTAL INFORMATION WITH APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

K.A. Fedutinov

Voronezh state University, Voronezh, Russia

Abstract: The article discusses the development of managerial decisions to improve the environment through the introduction of geographic information technologies, including methods for assessing and predicting the environmental situation based on monitoring approaches. The development of big data processing technologies has identified trends in the widespread implementation of real-time monitoring systems. In this regard, the task of monitoring natural objects is proposed to be solved as the task of determining and controlling the properties and states of a complex object in real time and actively interacting with the environment, as well as developing managerial decisions and recommendations. It is proposed to use the Fuzzy ART neural network as a mathematical apparatus for structuring environmental information, which has proven itself in real-time data processing. To visualize the received information and integrate the results of the network operation of the Fuzzy ART network into

a geographic information system, it is proposed to use the Folium Python library, which is intended for graphical display of geographic data and contains all the necessary cartographic information. Using Folium, the results of the structuring of environmental data can be displayed directly on Google maps, which makes it possible to visually determine the boundaries of clusters and possible buffer zones when the map is scaled up.

Keywords: neural network, clustering, machine learning, adaptive resonance theory, Fuzzy ART network, GIS system.

For citation: K.A. Fedutinov. Structuring environmental information using geographic information technologies. *Modeling, optimization and information technology*. 2019;7(4). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/Fedutinov_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.044 (In Russ).

Введение

Современные системы экологического мониторинга представляют собой информационные системы наблюдений, оценки и прогнозирования изменений состояния окружающей среды, а также выработки корректирующих управленческих решений. В 2011 году в России внедрена и закреплена законодательно (в Федеральном законе № 7-ФЗ) “Единая государственная система экологического мониторинга”. Согласно этому закону, функция государственного экологического мониторинга закреплена за федеральными органами исполнительной власти, а также за органами государственной власти субъектов РФ. На Рисунке 1 представлена структурная схема единой государственной системы экологического мониторинга.



Рисунок 1 – Государственная система экологического мониторинга.

Государственная система наблюдений состоит из государственной наблюдательной сети, формируемой Росгидрометом, и территориальных систем наблюдений за состоянием окружающей среды, формируемых субъектами РФ. Согласно постановлению Правительства РФ № 681 (от 9 августа 2013 г.) “О государственном

экологическом мониторинге и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга” субъекты РФ “принимают участие в осуществлении государственного экологического мониторинга путем формирования и обеспечения функционирования территориальных систем наблюдений за состоянием окружающей среды”.

Таким образом, в общем случае, организация экологического мониторинга рассматривается в двух аспектах - глобальном и региональном [1]. На государственном уровне формируется общегосударственная система наблюдений. На региональном уровне осуществляется слежение за антропогенными процессами и явлениями окружающей среды в пределах региона, негативными проявлениями взаимодействия различных факторов, характерных для экономики региона.

Однако, на сегодняшний день так и не решена задача интеграции всех данных единой системы государственного экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий и организация доступа к ним, что затрудняет использование результатов мониторинга для принятия управленческих решений. Так, например, информацию, получаемую территориальными системами наблюдений субъектов РФ, Росгидромет практически не учитывает при оценке и прогнозировании загрязнения окружающей среды. Поэтому актуальной является разработка геоинформационных систем регионального уровня, предоставляющих свободный доступ к мониторинговой информации с возможностью структуризации и визуализации мониторинговых данных на уровне субъекта РФ.

Материалы и методы

На основании отмеченного и анализа существующих систем мониторинга окружающей среды в регионах РФ, на Рисунке 2 предлагается схема регионального экологического мониторинга.

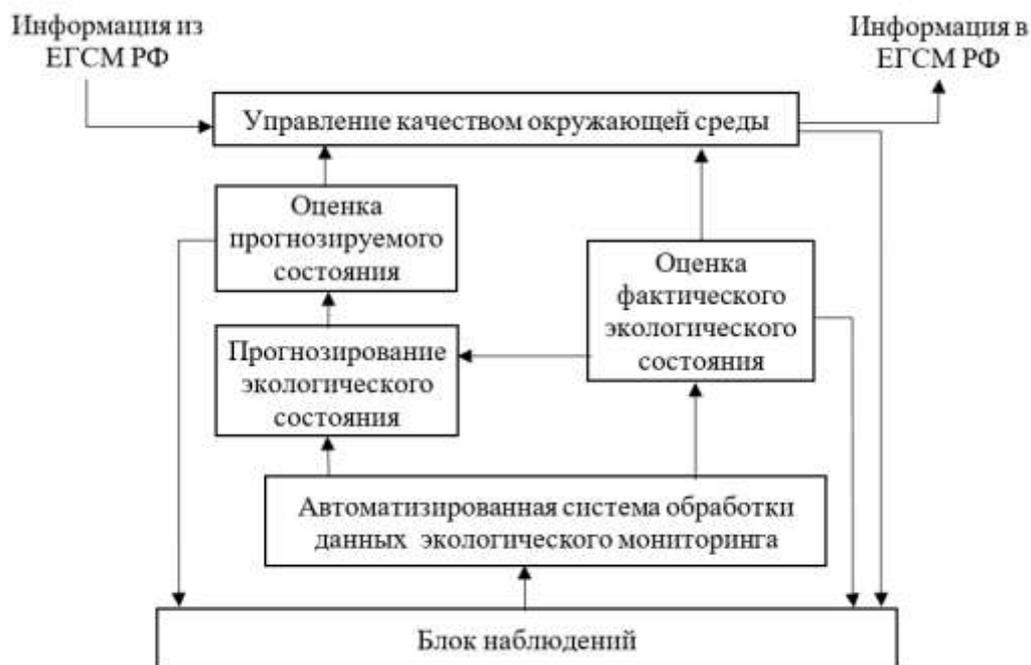


Рисунок 2 – Схема регионального экологического мониторинга.

В состав этой схемы включен блок автоматизированной обработки данных экологического мониторинга, так как в случае отсутствия такой системы наблюдения не могут обрабатываться в режиме реального времени, в связи с чем влияние результатов работы блока управления является недостаточным для оперативного управления экологической ситуацией, особенно на региональном уровне. На Рисунке 3 приведена структурная схема системы управления экологическим мониторингом.

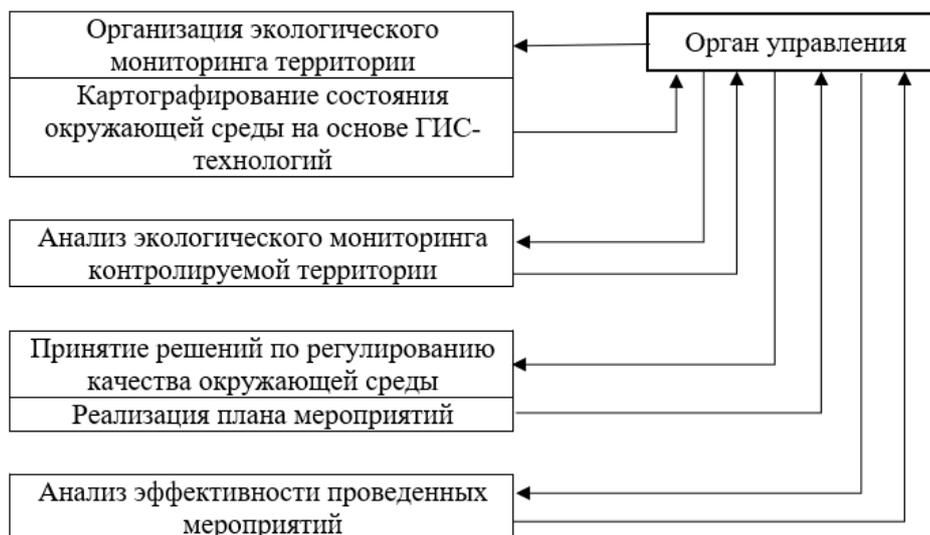


Рисунок 3 - Система управления экологическим мониторингом.

Для оперативного формирования управленческих решений необходимо визуализировать информацию, отражающую не только значения показателей мониторинга загрязнения окружающей среды и результаты их статистической и аналитической обработки, но и пространственную привязку к реальной местности.

В настоящее время для решения подобных задач интерактивной визуализации пространственных данных широко применяются геоинформационные технологии. Современные ГИС-системы не только отображают данные, но и дают возможность интеграции результатов обработки и анализа данных и математического моделирования с базами данных пространственной информации. На Рисунке 4 представлена структура современной масштабируемой и многоуровневой программной платформы для сбора и обработки данных экологического мониторинга, имеющей в своем составе интеллектуальную подсистему системы принятия решений анализа и прогнозирования экологической ситуации для повышения эффективности управленческих решений.

В целях повышения эффективности и точности принятия решений по управлению экологической ситуацией в последние годы все чаще используются активно развивающиеся сегодня технологии интеллектуального анализа данных.

В частности, в работах [5] и [6] предлагается методика квалиметрического подхода к построению неаддитивной интегральной оценки экологической ситуации, основанной на аппарате d-оценок Руссмана. Преимуществом предлагаемой в этих работах интегральной оценки является то, что она имеет вероятностную интерпретацию, что позволяет оценивать степень экологического риска территорий в стандартной вербально-числовой шкале Харрингтона на основе вычисления несоответствия экологического состояния территорий заданным требованиям к их

качеству.

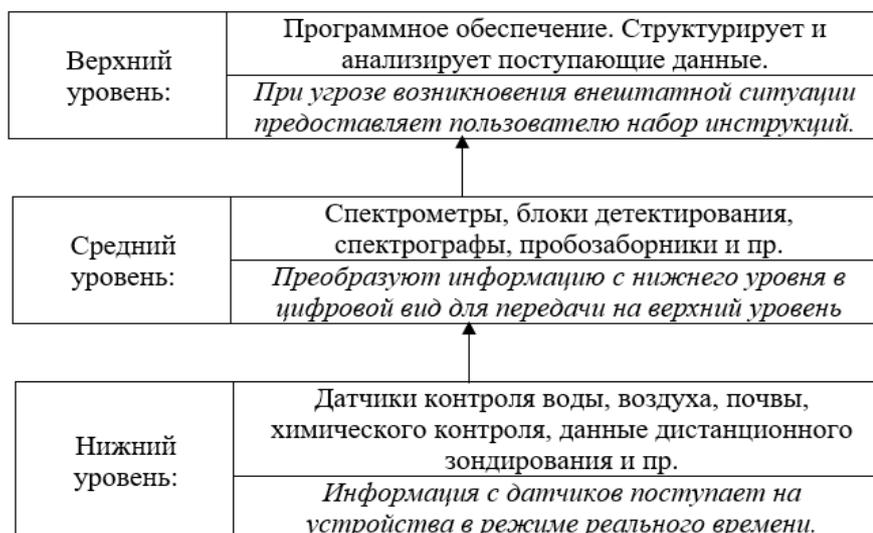


Рисунок 4 - Структура современных систем автоматизированной системы сбора и обработки данных экологического мониторинга

Однако для системного анализа проблемных экологических ситуаций и построения интегральной оценки геоэкологического состояния следует рассмотреть и другие подходы к установлению структурных связей между мониторинговыми показателями исследуемой системы, что позволит создать основу для обоснованного подхода к проблеме принятия решений.

Формирование современной информационно-мониторинговой ГИС-системы обеспечивает возможность кластерной структуризации экологической информации по всему набору частных показателей. Кластеризация данных о состоянии окружающей среды позволяет выделить на карте районы региона со сходной экологической ситуацией. Такая структуризация позволяет более обоснованно подойти к разработке комплексной оценки экологического состояния региона. Такая оценка должна давать схожие значения для территорий, характеризующиеся наборами мониторинговых показателей, которые попадают в один кластер.

Одним из востребованных сегодня направлений использования технологий искусственного интеллекта при разработке геоинформационных систем, предназначенных для экологического мониторинга, является применение нейронных сетей в задачах структуризации экологической информации. Нейронные сети хорошо умеют работать в условиях неполной входной информации, а также в условиях шумов и помех, что часто бывает характерно для мониторинговых показателей, следовательно, они могут повысить оперативность и точность оценки текущего состояния окружающей среды, а, значит, и эффективность принимаемых решений. При решении задач кластеризации мониторинговой информации, которая может поступать в потоковом режиме наилучшим образом себя зарекомендовали нейронные сети семейства ART (Adaptive Resonance Theory) [2]. Поэтому для решения задачи структуризации экологической информации предлагается использовать нейронную сеть Fuzzy ART, представленной в [3] в рамках построения обобщенной модели функционирования сетей семейства ART.

Результаты и обсуждение

Архитектура и алгоритм обучения сети Fuzzy ART подробно рассмотрены в работах [2,3,8], поэтому их изложение остается за рамками данной статьи. Исходные данные задачи оценки экологического состояния региона представляют собой 14 мониторинговых показателей, используемых для оценки риска химического загрязнения окружающей среды. На Рисунке 5 представлен перечень показателей, использованных для анализа экологической ситуации. Данные об актуальных значениях данных показателей в 32 муниципальных районах Воронежской области были предоставлены ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области».



Рисунок 5 – Показатели оценки экологической ситуации в регионе

Для интеграции разработанного метода кластеризации на основе сети Fuzzy ART в полноценную ГИС -систему была использована библиотека Folium [9]. Это Python-библиотека для визуализации географических данных, которая содержит всю необходимую картографическую информацию. Folium позволяет легко визуализировать данные, которые были обработаны в Python, на интерактивной карте местности. Это позволяет осуществлять привязку данных к карте для визуализации, выделение областей на карте, передачу произвольных изображений в качестве маркеров.

На Рисунке 6 представлен результат кластеризации муниципальных районов Воронежской области на основе показателей химического загрязнения воды, воздуха и почвы. Полученный результат согласуется с результатами зонирования Воронежской области по интегральной оценке риска химического загрязнения в вербально-числовой шкале Харрингтона, представленными в обсуждаемой выше работе [6].

В работе [6] рассматривается 5 уровней риска химического загрязнения территории: 1 – очень низкий; 2 – низкий; 3 – средний; 4 – высокий; 5 – очень высокий, при этом оценку 3 не получает ни один из районов, то есть фактически производится разбиение на 4 кластера. На Рисунке 5 желтый цвет соответствует наиболее благополучным районам (получившим оценку 1), а красный – наименее благополучным (получившим оценку 5). Небольшие отличия данного исследования с результатами работы [6] наблюдаются в кластерах 2 и 4.

Для сравнения на Рисунке 7 приведены результаты кластеризации муниципальных районов Воронежской области на основе показателей химического загрязнения методом К-средних. Здесь наблюдаются более существенные отличия с работой [6] (благополучных районов, которые представлены на Рисунке 6 зеленым цветом, становится больше). Но при этом стоит отметить, что результаты, полученные

на рис. 6 лучше согласуются с результатами, представленными на сайте ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»[7].

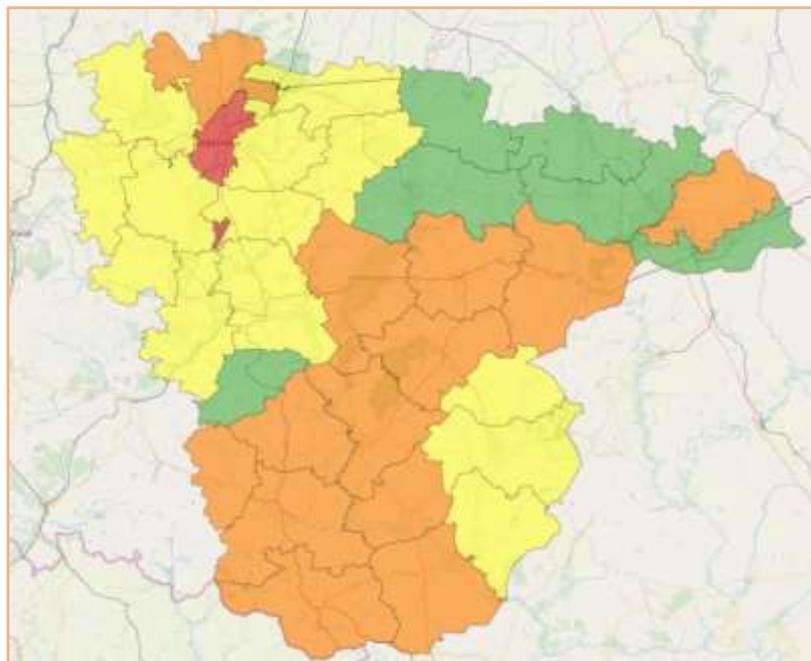


Рисунок 6 – Кластеризация муниципальных районов Воронежской области по показателям химического загрязнения окружающей среды с использованием сети Fuzzy ART

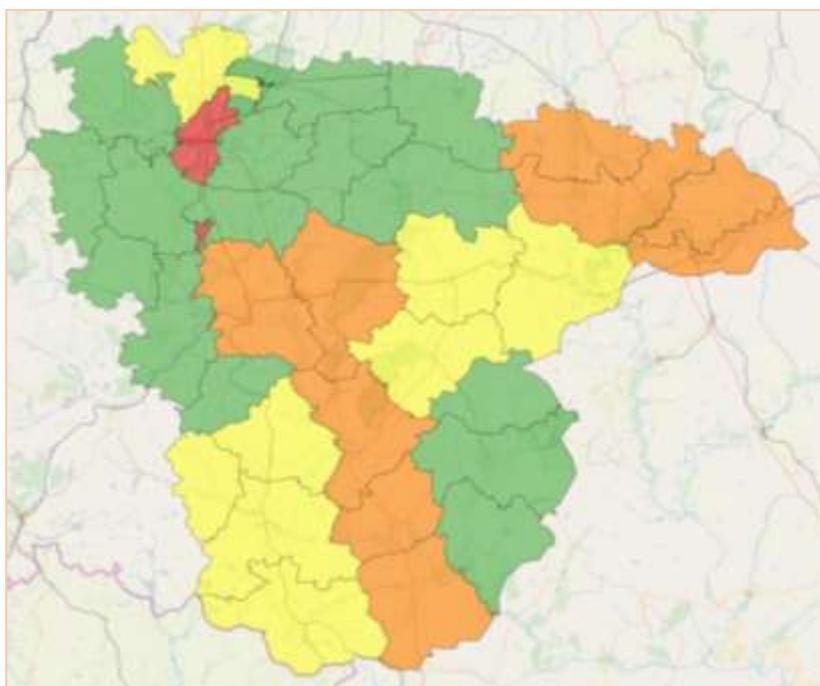


Рисунок 7 –Кластеризация муниципальных районов Воронежской области по показателям химического загрязнения окружающей среды с использованием K-Means

Интерактивные карты, построенные с помощью библиотеки Folium, допускают увеличение или уменьшение масштаба до необходимой степени детализации с целью наглядного просмотра границ кластеров, выделения буферных зон. На Рисунке 8

представлен увеличенный фрагмент карты, изображенной на Рисунке 5 в районе западной границы г. Воронежа, выезда из города на курскую трассу Р-298.

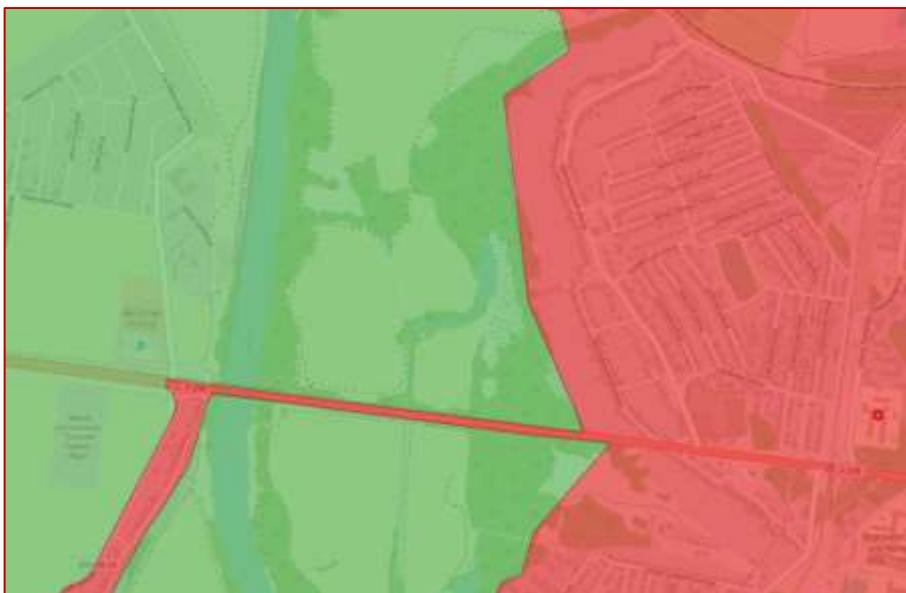


Рисунок 5 – Фрагмент кластеризации муниципальных районов Воронежской области по показателям химического загрязнения окружающей среды с использованием Fuzzy ART

Заключение

В результате исследования был разработан аппарат нейросетевого подхода к структуризации экологической информации по всей совокупности мониторинговых показателей с использованием геоинформационных технологий, апробированный на примере Воронежской области по показателям химического загрязнения окружающей среды. В целом, подобная методика применима для произвольного набора данных экологического характера. Она позволяет исследовать и визуализировать пространственное взаимодействие элементов исследуемой системы. Использование ГИС позволяет установить новые зависимости между наборами экологических и географических данных, их пространственного анализа, и представляет лицу, принимающему решение, возможность оптимизировать процесс выбора стратегий в составлении плана профилактических мероприятий [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Положение о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)* (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 9 августа 2013 года N 681).
2. G. A. Carpenter, S. Grossberg, and D. B. Rosen, Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system. *Neural Networks*. 1991;4:759–771.
3. Каширина И.Л., Львович Я.Е., Сорокин С.О. Нейросетевое моделирование формирования кластерной структуры на основе сетей ART. *Информационные технологии*. 2017;23(3):228-232.

4. Иванов Д. В. Взаимодействие компонентов природной среды на территории Воронежской области. *ArcReview*. 2005;3(34):1–3.
5. Леденева Т.М., Умывакин В.М., Швец А.В. Методологические основы построения неаддитивных квалиметрических моделей интегральной оценки экологического состояния природно-хозяйственных геосистем. *Вопросы науки*. 2016;1:58-73.
6. Зибров Г.В., Умывакин В.М., Минаев В.А., Матвиец Д.А., Швец А.В. Оценка состояния окружающей среды природно-антропогенных объектов в категориях экологической безопасности и риска. *Технологии техносферной безопасности*. 2015;2(60):252-262.
7. Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.36rospotrebnadzorfuz.ru/index.htm>
8. Каширина И.Л., Федутинов К.А. Применение сети Fuzzy ARTMAP в интеллектуальных системах обнаружения вторжений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018;6(3). Доступно по: <https://moit.vivt.ru/?p=7165&lang=ru>
9. Folium. Режим доступа: <https://python-visualization.github.io/folium/> (дата обращения 22.11.2019 на англ).
10. Карлин Л.Н. *Управление экологическими и экологическими рисками*. СПб. : Изд-во РГГМУ, 2006.

REFERENCES

1. *The Regulation on state environmental monitoring (state environmental monitoring) and the state fund of data on state environmental monitoring (state environmental monitoring)* (approved by Decree of the Government of the Russian Federation of August 9, 2013 N 681).
2. G. A. Carpenter, S. Grossberg, and D. B. Rosen, Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system. *Neural Networks*. 1991;4:759–771.
3. Kashirina I.L., Lvovich Y.E., Sorokin S.O. Neural network modeling of the formation of a cluster structure based on ART networks. *Information Technology*. 2017;23(3):228-232.
4. Ivanov D. V. *Interaction of the components of the environment on the territory of the Voronezh region*. *ArcReview*. 2005;3(34):1–3.
5. Ledeneva TM, Umyvakini VM, Shvets A.V. Methodological foundations for constructing non-additive qualimetric models for integrated assessment of the ecological state of natural-economic geosystems. *Science issues*. 2016;1:58-73.
6. Zibrov G.V., Umyvakini V.M., Minaev V.A., Matviyets D.A., Shvets A.V. Assessment of the state of the environment of natural and man-made objects in the categories of environmental safety and risk. *Technology of technosphere safety*. 2015;2(60):252-262.
7. *Federal budgetary health institution "Center for hygiene and epidemiology in the Voronezh region"* [Electronic resource] - Access mode: <http://www.36rospotrebnadzorfuz.ru/index.htm>
8. Kashirina I.L., Fedutinov K.A. Application of the Fuzzy ARTMAP network in intelligent intrusion detection systems. *Modeling, optimization and information technology*. 2018;6(3). <https://moit.vivt.ru/?p=7165&lang=ru>
9. Folium. Access mode: <https://python-visualization.github.io/folium/> (accessed 11/22/2019 in English).

10. Karlin L.N. *Management of environmental and environmental risks*. SPb.: Publishing House of the RSUHMU, 2006.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Федутинов Константин Александрович, аспирант, кафедра математических методов исследования операций, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация.

Konstantin Fedutinov, Postgraduate Student, Department of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation.