



УДК 519.651:004.925.8

Е. В. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра; П. В. ЮРЧЕНКО, ассистент

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-52-09;  
факс: (831) 430-50-03; эл. почта: gis@nngasu.ru

*Ключевые слова:* геометрическое моделирование, геоинформационное моделирование, нейросеть, природные ресурсы.

---

*Геоинформационное моделирование природных и антропогенных объектов применяется для сбора, анализа и прогнозирования их изменяющихся во времени характеристик. Для высокоточного геометрического моделирования линейных и площадных объектов рассматривается применение методов геоинформационного моделирования в соответствующих средах в сочетании с методами классификации многомерных данных, используемых в нейросетях.*

*На примере моделирования природных объектов территории Большеболдинского района Нижегородской области проведено исследование возможности применения нейронной сети для увеличения точности моделирования и снижения вычислительных ресурсов при разработке их геоинформационных аналогов. Выявлены наиболее важные аспекты интеграции геоинформационных моделей и нейронных сетей. Проанализированы результаты эксперимента по применению интегрированной модели для классификации изображений природных объектов на спутниковых снимках.*

---

### **Введение**

Природные и антропогенные ресурсы, которыми располагает человечество, их состояние, качественные и количественные характеристики являются жизненно важными аспектами его существования. Именно поэтому вопрос о наиболее точном геоинформационном моделировании упомянутых объектов сегодня является актуальным и востребованным. Так, например, зная достоверные сведения о расположении лесных массивов, их фактической площади, а также данных о том, как она изменялась в определенный период времени, можно с довольно высокой степенью достоверности предположить, каковыми будут их характеристики в последующие периоды времени, а, значит, своевременно предпринять необходимые действия по грамотному и оптимальному управлению ими, направленными в первую очередь на их сохранность и рациональное использование. Другими не менее важными природными объектами, рассматриваемыми в рамках проводимого исследования, являются водные объекты (водотоки и водоемы), почвы, сельскохозяйственные угодья. Все они изучались ранее с применением методов геоинформационного и информационного моделирования в рамках территории Большеболдинского муниципального района Нижегородской области.

Исследование природных и антропогенных объектов имеет важное значение. В статье подход к решению задач, возникающих при подобных исследованиях, описан на примере Большеболдинского района Нижегородской



области, поскольку данные объекты могут быть отнесены к основным ресурсам, которыми располагает район, так как его производственная деятельность связана преимущественно с сельским хозяйством и туристско-рекреационной работой. На этом примере показано, что разработка методики расчета и визуализации временных изменений геометрии природных объектов является актуальной задачей.

### **Сложности решения аналитических задач традиционными ГИС**

В создаваемых геоинформационных моделях выделенных территорий при решении аналитических задач на основе площадных и линейных объектов наибольшую сложность представляет точность определения их границ. Известно, что методами классической евклидовой геометрии невозможно описать границы территорий естественного происхождения, таких как лесные массивы, водоемы, степные пространства, а также береговые линии водотоков (рек, ручьев), так как это весьма трудоемко, а иногда нереализуемо. Помимо этого, при геоинформационном моделировании природных и антропогенных объектов на картах часто возникают сложности при их стыковке из-за неточности их границ, вызванных искажениями снимков, применяемых при их создании. Поскольку исследуемые ресурсы выделяемой территории Большеболдинского района необходимо описать наиболее полно и точно с точки зрения их характеристик и в первую очередь расположение на карте, принято решение разрабатывать предполагаемую методику с использованием возможностей геоинформационных систем и методов машинного обучения.

Ранее для исследования природных и антропогенных объектов выделенного района применялись геоинформационные методы с использованием геоинформационных систем (далее – ГИС) *MapInfo* и *NextGIS* [5]. ГИС являются благоприятной средой для внедрения методов искусственного интеллекта и экспертных систем. Это вызвано, с одной стороны, разнообразием и сложностью данных в ГИС, с другой – наличием большого числа аналитических задач, решаемых при использовании ГИС. Одновременно с этим большинство проблем и задач в ГИС слабо структурировано и слабо формализовано [4].

### **Геометрическое моделирование природных и антропогенных объектов на основе спутниковых снимков**

Построение традиционных математических моделей для решения таких задач затруднено или сопряжено со значительными затратами, превышающими ожидаемый от модели эффект. Это связано с невозможностью полного исследования внутренних взаимодействий в системе, большим числом влияющих факторов, неполнотой или неточностью описания объектов, динамикой или малой изученностью предметной области. Традиционно такие задачи решаются на неформальном уровне экспертами и специалистами в предметной области. В современных условиях для решения подобных задач используются искусственные нейронные сети. Нейросетевые модели могут стать универсальным аппаратом, решающим разные специфические задачи из разных проблемных областей в ГИС. Такая универсальность обуславливается тем, что нейросетевые технологии дают стандартный способ решения многих нестандартных задач [1].

Вопросы интеграции ГИС и ИС сопряжены с рядом проблем, отмечаемых в современных исследованиях [2, 3]. К основным из них относят:

1. Программная интеграция искусственных нейронных сетей и геоинформационных систем определяет вопросы, связанные с разработкой



методов и схем взаимодействия нейросетевых компонент и ГИС, организацией обмена данными и системы запросов между компонентами.

2. Создание нейросетевых моделей в составе геоинформационной системы, которая включает разработку технологии построения нейросетевых моделей, разработку методов автоматизации процесса построения нейросети.

3. Использование нейросетевых моделей в составе геоинформационной системы. К этой проблеме можно отнести обеспечение устойчивого функционирования, повышение «прозрачности» работы нейросети, получение дополнительной информации о модели, оценку качества работы сети.

4. Технической реализации нейросетевых компонент, которая состоит в определении средств построения нейросетевой компоненты, разработке программной системы и обеспечении информационного, программного и технологического соответствия систем.

Интеграция ГИС и НС может быть решена несколькими способами:

1) интеграция нейросетевой модели в ГИС с использованием ее специализированных средств (программирование на встроенных языках типа *Avenue*, *MapBasic* и т. п.);

2) создание интерфейса взаимодействия между ГИС и НС как самостоятельными системами;

3) создание прикладного программного обеспечения нейросетевых систем с элементами ГИС (например, с использованием библиотек классов типа *MapObjects*, *GeoConstructor*, *MapX* и других).

В основном исследование строится на возможностях ГИС *QGIS*, среда которой включает функционал разработки и программирования, при этом доступна для применения. В то же время имеется немало нейросетей, находящихся в открытом доступе для любого пользователя.

Таким образом, новый механизм геометрического моделирования природных и антропогенных ресурсов может быть реализован в виде следующей модели, состоящей из трех основных блоков:

1. Геоинформационная модель данных.

2. База данных, содержащая необходимые характеристики природных и антропогенных объектов.

3. Банк нейросетевых алгоритмов (моделей).

Следует отметить, что на сегодняшний день имеется не так много примеров успешной интеграции ГИС и НС. Например, программа *NeRIS*, которая предназначена для тематической интерпретации пространственных данных, в первую очередь данных дистанционного зондирования Земли. Основной инструмент, реализованный в программе – нейронные сети Кохонена. Являясь одним из методов классификации многомерных данных, нейронные сети Кохонена обладают важными дополнительными свойствами, на которых основана значительная часть используемых в программе алгоритмов.

Одной из задач геометрического моделирования природных объектов стала задача классификации их изображений на спутниковых снимках для последующего анализа и визуализации возможных изменений в геометрических характеристиках. Необходимо было учесть, что изображения данных объектов не имеют типичных контуров, но при этом занимают на поверхности Земли довольно значительные площади, поэтому их изучение проводилось на основании материалов снимков спутника *Landset 9* и нейросетевого алгоритма.



В исследованиях последних лет, проведенных российскими учеными, классификации изображений на спутниковых снимках уделялось большое внимание. Так, например, исследователи водоохранных лесов [6] используют облачную платформу *Google Earth Engine*, которая предоставляет возможность использования различных методов классификации с применением методов машинного обучения, в частности описан примененный метод *Random Forest* и приведены показатели точности классификации от 84 до 90 %. Вместе с тем использование облачных платформ для классификации изображений на спутниковых снимках может быть не всегда доступно, и в таких случаях следует подумать о других способах классификации.

Сложность в выборе входных данных заключается в том, что для отдельных видов природных ресурсов они могут как различаться, так и быть общими. Например, значения координат ( $X$ ,  $Y$ ), высот ( $H$ ), периметр и площадь могут относиться к лесным массивам, землям сельскохозяйственного назначения, поверхностным водным объектам, почвам и другим. Но в тоже время имеются такие входные данные, как: водоток, протяженность береговой линии, тип водоема, хозяйственное использование, код ГВР будут относиться только к поверхностным водным объектам; генетическое наименование, механический состав почвообразующие породы – к почвам. Поэтому при создании нейросетевого алгоритма, использующего двуслойную структуру, большое внимание было уделено подготовке обучающего набора данных. Работа по классификации изображений природных объектов на спутниковых снимках проводилась на примере лесных массивов.

Обучающий набор данных был подготовлен средствами плагинов *QGIS*, находящихся в открытом доступе. При подготовке обучающего набора данных были рассмотрены два широко применяемых алгоритма – *Gaussian Mixture Model (GMM)* и *Support Vector Machines (SVM)*, с помощью которых были размечены два одноканальных раstra для будущего применения в нейросетевом алгоритме. На рис. 1 цв. вклейки приведены полученные таким образом обучающие наборы данных.

Для тестирования нейросетевого алгоритма был взят фрагмент снимка на другую часть территории Большеболдинского района (рис. 2 цв. вклейки) и впоследствии классифицирован классической дихотомической классификацией «лес – не-лес». На рис. 3 цв. вклейки – результаты классификации с применением двух обучающих наборов, подготовленных с использованием *GMM* (рис. 3, а-в) и *SVM* (рис. 3, г-е) при использовании в нейросетевом алгоритме двух (рис. 3, а, г), шести (рис. 4, б, д) и двенадцати (рис. 3, в, е) эпох нейросети.

Визуализация последовательного применения алгоритма с каждым из двух обучающих наборов позволяет установить их различия в распознавании лесных массивов и отметить последовательное улучшение результатов классификации в принципе в обоих случаях.

### Тестирование алгоритма

При тестировании алгоритм запускался последовательно с каждым из двух подготовленных обучающих наборов с количеством эпох от 2 до 12 с шагом 2. При каждом применении были рассчитаны значения метрических показателей: *accuracy* – доля правильных ответов среди всех предсказанных; *loss* – функция потерь, в качестве которой была применена перекрестная энтропия; *P-Score* – точность предсказаний нейросети и *R-Score* – полнота. На рис. 4 цв. вклейки приводится динамика изменений всех указанных ключевых метрик нейросети с



каждым из двух подготовленных обучающих наборов данных и с каждым примененным количеством эпох нейросети. При этом по оси *OY* отмечены значения метрических показателей, а по оси *OX* отмечено количество эпох в нейросетевом алгоритме, в котором получены значения показателей.

Разработанная концепция моделирования природных и антропогенных объектов, использующая схему обобщенной модели нейросети, показывает возможный подход к созданию интегрированной информационно-аналитической системы. Интегрированные с геоинформационными системами нейронные сети – мощный инструмент для решения широкого круга задач, обеспечивающий эффективную поддержку принятия решений. В качестве входных и выходных данных нейронная сеть может использовать пространственно-координированные данные. Программы, созданные на основе нейросетевых алгоритмов, будут динамически модифицировать слои электронной карты, изменять характеристики существующих объектов, создавать новые объекты. В результате обработки массива имеющихся данных могут также возникать новые слои карты, в то время как существующие слои будут приобретать динамические свойства.

### **Заключение**

В статье показано, что методика моделирования с помощью нейронных сетей является эффективным инструментом географического исследования, в том числе в сфере территориального планирования урбанизированных территорий, исследования их природных и антропогенных ресурсов и может быть с известным полезным результатом применена к исследованию природных и антропогенных объектов Большеболдинского района Нижегородской области.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Попков, А. В. Применение нейронных сетей и искусственного интеллекта для целей территориального планирования / А. В. Попков. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyronnyh-setey-i-iskusstvennogo-intellekta-dlya-tseley-territorialnogo-planirovaniya/viewer> (дата обращения 26.09.2024). – Текст : электронный.
2. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. – Казань : Издательство Казанского университета, 2018. – 121 с.
3. Питенко, А. А. Нейросетевой анализ в геоинформационных системах / А. А. Питенко. – Красноярск : ИНТЕГРАЦИЯ, 2000. – 97 с.
4. Лайкин, В. И. Геоинформатика: учебное пособие / В. И. Лайкин, Г. А. Упоров. – Комсомольск-на-Амуре : АмГПУ, 2010. – 162 с. – ISBN 978-5-85094-398-1.
5. Родионова, С. В. Разработка информационной системы кадастра природных ресурсов / С. В. Родионова, П. В. Юрченко // Проблемы современного социально-экономического и технологического развития России и пути их решения : материалы Национальной научно-практической конференции / редколлегия Д. В. Хавин, С. В. Горбунов, Е. Ю. Есин. – Нижний Новгород, 2021. – С. 93–97.
6. Тарасова, Л. В. Мониторинг лесного покрова водоохраных зон рек Марий Эл по спутниковым данным / Л. В. Тарасова, Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Том 21. – № 2. – С. 177–195.

К СТАТЬЕ Е. В. ПОПОВА, П. В. ЮРЧЕНКО  
«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»

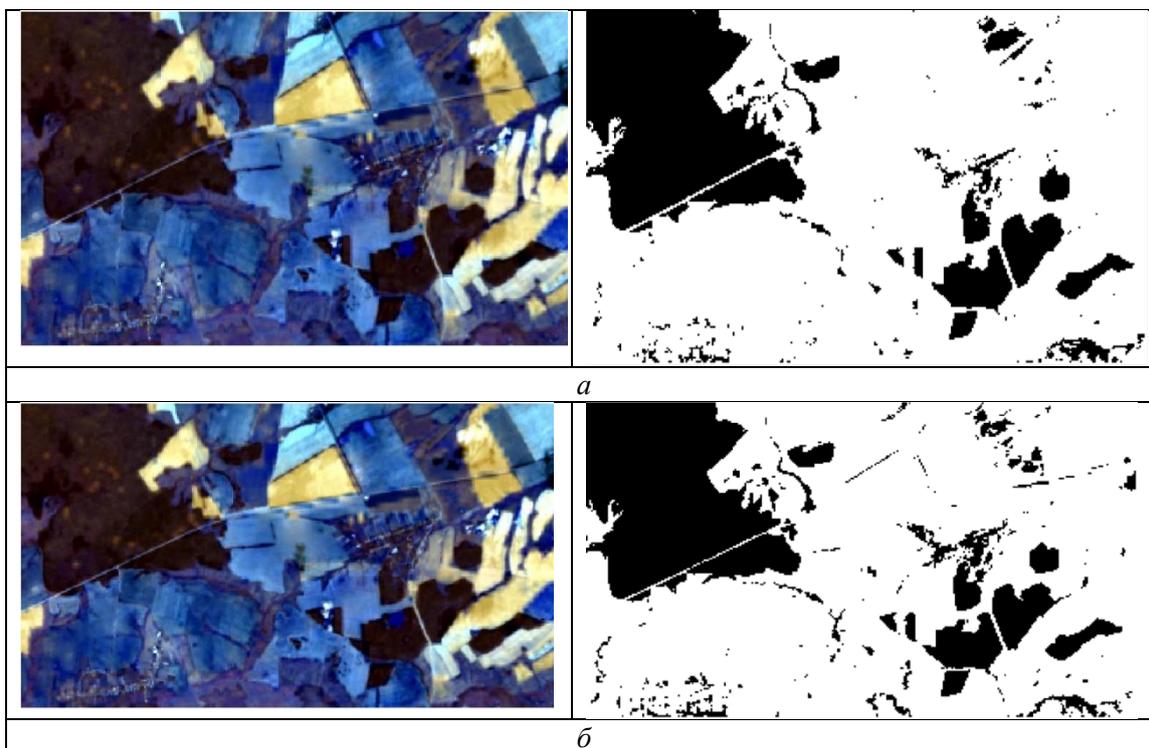


Рис. 1. Обучающие наборы данных, полученные с применением алгоритмов: *a* – *GMM*,  
*б* – *SVM*



Рис. 2. Фрагмент растрового спутникового снимка, выбранного для классификации лесных массивов

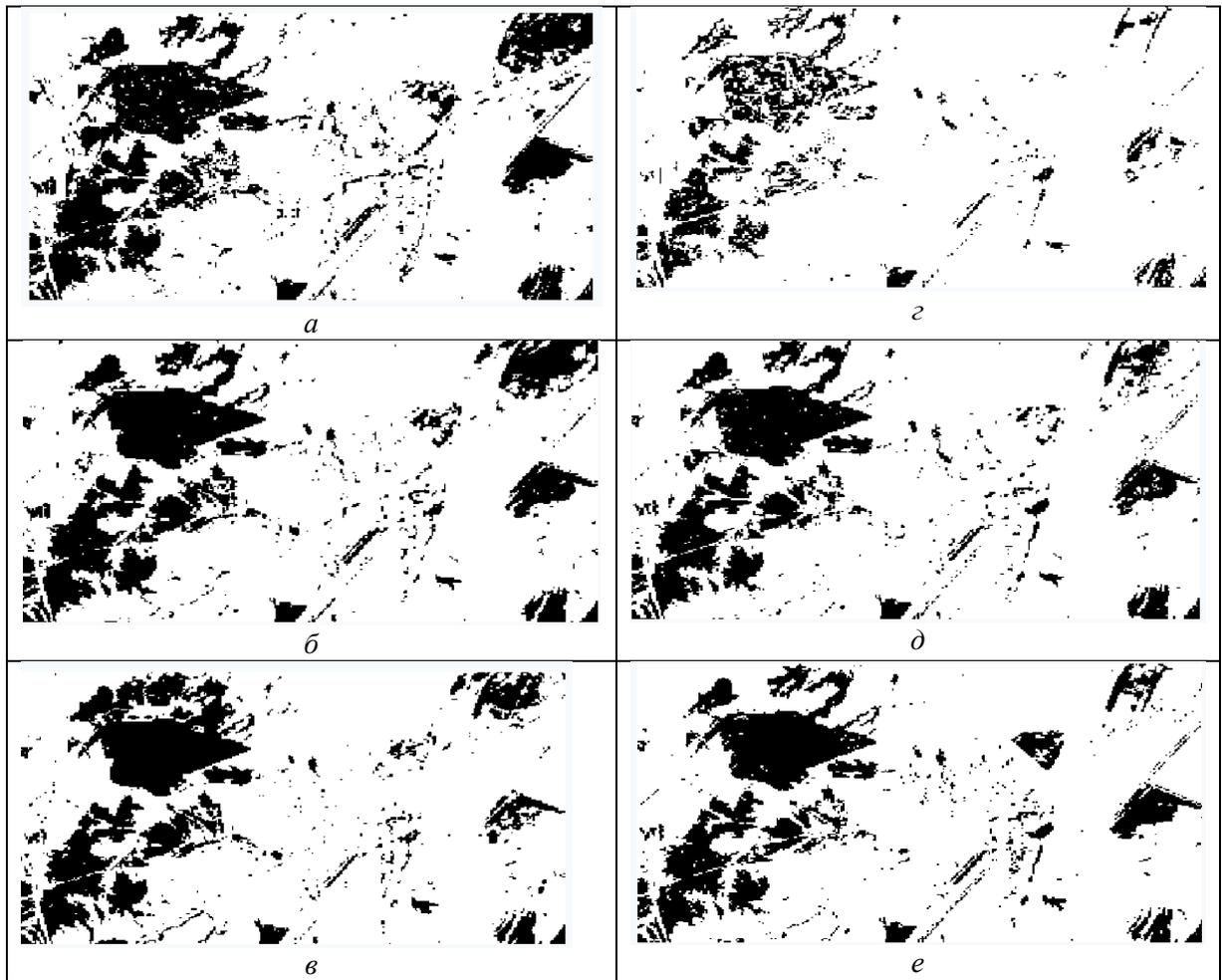


Рис. 3. Результаты классификации лесных массивов с помощью двух обучающих наборов данных

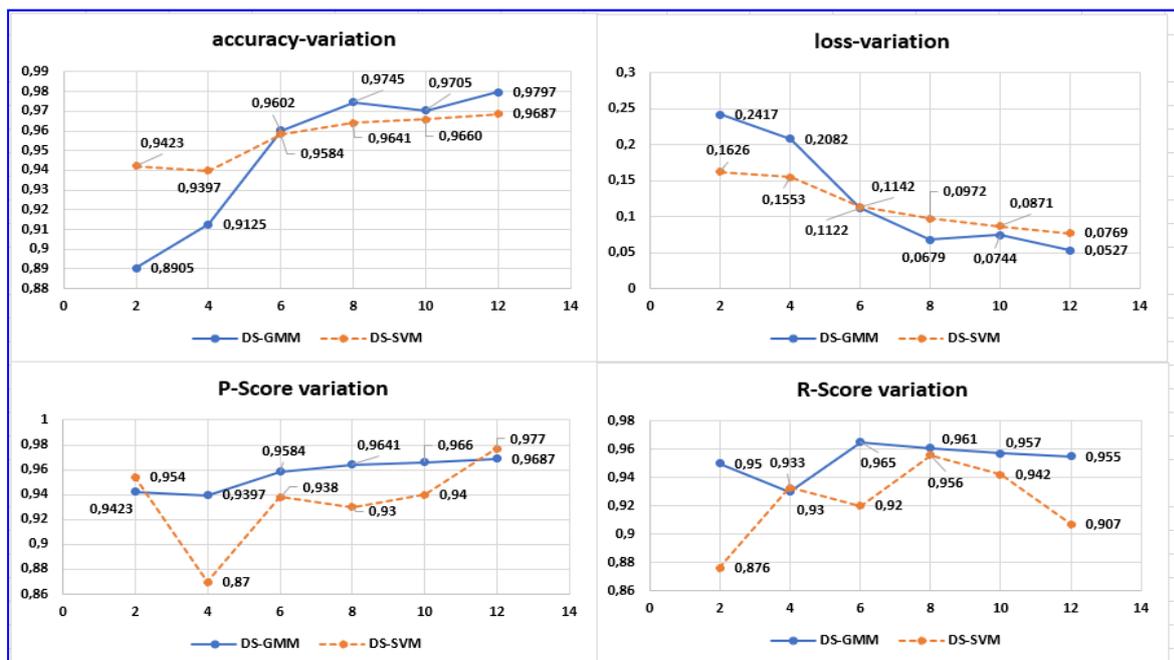


Рис. 4. Метрические результаты классификации



**POPOV Evgeniy Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre; YURCHENKO Pavel Vladimirovich, assistant**

## **NEURAL NETWORK APPLICATION FOR GEOMETRIC MODELING OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC OBJECTS**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Пijinskaya St., 603952, Nizhny Novgorod, Russia, Tel.: (831) 430-52-09;  
факс: (831) 430-50-03; эл. почта: gis@nngasu.ru

*Key words:* geometric modeling, geoinformation modeling, neural network, natural resources.

---

*Geoinformation modeling of natural and anthropogenic objects is applied to collect, analyze and predict their time-varying characteristics. In order to achieve high-precision geometric modelling of linear and area objects, it is necessary to apply geoinformation modelling methods in appropriate environments in combination with multidimensional data classification methods used in neural networks.*

*The potential of neural networks for enhancing the precision of modelling and reducing the computational resources required for the development of geoinformation analogs is being investigated with a particular focus on the modelling of natural objects in the Bolsheboldinsky district of the Nizhny Novgorod region. The most important aspects of integration of geoinformation models and neural networks are revealed. The findings of the experiment, which tested the efficacy of an integrated model for classifying images of natural objects on satellite images, were subjected to analysis.*

---

### REFERENCES

1. Popkov A. V. Primenenie neyronnykh setey i iskusstvennogo intellekta dlya tsey territorialnogo planirovaniya [Application of neural networks and artificial intelligence for the purposes of territorial planning]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenienie-neyronnyh-setey-i-iskusstvennogo-intellekta-dlya-tsey-territorialnogo-planirovaniya/viewer> (accessed: 26.09.2024).
2. Gafarov F. M., Galimyanov A. F. Iskusstvennye neyronnye seti i prilozheniya [Artificial neural networks and applications]: ucheb. posobie. Kazan: Izd-vo Kazan. un-sta, 2018, 121 p.
3. Pitenko A. A. Neyrosetevoy analiz v geoinformatsionnykh sistemakh [Neural network analysis in geoinformation systems]. Krasnoyarsk, INTEGRATSIYA, 2000, 97 p.
4. Laykin V. I., Uporov G. A. Geoinformatika [Geoinformatics]: uchebnoe posobie: Komsomolsk-on-Amur, AmGPGU, 2010, 162 p.
5. Rodionova S. V., Yurchenko P. V. Razrabotka informatsionnoy sistemy kadastra prirodnnykh resursov [Development of information system of natural resources cadaster] Problemy sovremennogo sotsialno-ehkonomicheskogo i tekhnologicheskogo razvitiya Rossii i puti ikh resheniya [Problems of modern socio-economic and technological development of Russia and ways of their solution]: materialy Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / redkollegiya D. V. Khavin, S. V. Gorbunov, E. Yu. Esin, Nizhny Novgorod, 2021. P. 93-97.
6. Tarasova L.V. Kurbanov E.A., Vorobyov O.N., Bu H., Lezhnin S.A., Dergunov D.M. Monitoring lesnogo pokrova vodookhrannykh zon rek Mariy El po sputnikovym dannym [Monitoring of the forest cover of the water protection zones of the rivers of Mari El by satellite data] Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. VSUT, Yoshkar-Ola, 2024, Vol. 21, № 2. P. 177-195.

© **Е. В. Попов, П. В. Юрченко, 2024**

Получено: 09.10.2024 г.