

Е. С. Подольская<sup>1</sup>, М. А. Сакиркина<sup>2</sup>

## МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В РЕШЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ В МАГИСТРАТУРЕ ФАКУЛЬТЕТА ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НИУ ВШЭ

### АННОТАЦИЯ

Статья представляет содержание и опыт проведения курса по машинному обучению (МО) в решении пространственных задач, прочитанного в магистратуре по пространственным данным и прикладной геоаналитике первого года обучения Факультета географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ в 2025 г. Авторы курса систематизировали свои образовательные и производственные наработки в использовании методов и технологий МО для студентов Факультета. Курс состоит из лекций и практических семинарских заданий, охватывающих методы и геоприложения современного МО с использованием нейросетей, и включает 14 пар занятий. В курсе рассмотрены место МО в науке о данных и искусственном интеллекте, приложения и актуальное развитие МО, математические основы и типы МО-задач. В классическом МО представлен блок занятий по кластерному анализу, классификации и регрессии с примерами в геоинформатике. Далее следует тема деревьев решений и ансамблей алгоритмов. Отдельное внимание уделяется обзору современных нейросетей как развития МО, алгоритмов и архитектур их работы, особенностей и отличий с актуальными примерами в геоинформатике. Продолжением курса является производственное использование методов МО. Изучаются наборы данных в МО с вариантами как готового использования, так и самостоятельного создания. Вводится понятие модели МО и рассматриваются Python-фреймворки для классического МО (Pandas, Scikit-learn, NumPy, ансамбли деревьев), затем глубокого обучения (ГО), такие как Keras, TensorFlow и PyTorch. В развитии курса обсуждается создание и оптимизация МО-модели на Python, являющейся частью МО-проекта; организация и интеграция МО-проекта в производственные процессы. Для того, чтобы показать студентам возможности МО, используются научные публикации по решению задач с пространственными данными: примеры в сельском хозяйстве, прогнозировании рисков и природных явлений, геомаркетинге. Дается обзор современного программного обеспечения с функциями МО в геоинформатике. Рассмотрение этики и права в МО-проектах завершает курс. В списке литературы курса — исследования 2019–2025 гг. Материалы курса планируется дополнять и актуализировать с использованием новостей разных источников, статей, учебников и профильных конференций по гео-искусственному интеллекту.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гео-искусственный интеллект, машинное обучение, учебный курс, магистерская программа, пространственные данные

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», ул. Мясницкая, д. 20, Москва, Россия, 101000, *e-mail*: [epodolskaya@hse.ru](mailto:epodolskaya@hse.ru)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», ул. Мясницкая, д. 20, Москва, Россия, 101000, *e-mail*: [masakirkina@gmail.com](mailto:masakirkina@gmail.com)

Ekaterina S. Podolskaia<sup>1</sup>, Maria A. Sakirkina<sup>2</sup>

**MACHINE LEARNING IN SOLVING SPATIAL PROBLEMS IN THE MASTER'S PROGRAM AT THE FACULTY OF GEOGRAPHY AND GEOINFORMATION TECHNOLOGIES OF THE HIGHER SCHOOL OF ECONOMICS**

**ABSTRACT**

Paper presents the content and experience of teaching a course on Machine learning (ML) in solving spatial problems, delivered within the master's program in spatial data and applied geanalytics of the first year of study at the Faculty of Geography and Geoinformation Technologies, Higher School of Economics in 2025. The authors of the course systematized their educational and production experience of using ML-methods and technologies for students of the Faculty. The course consists of lectures and practical seminar assignments covering the methods and geospatial applications of modern ML using neural networks, and includes 14 pairs of classes. The course examines the place of ML in data science and artificial intelligence, applications and current development of MLs, mathematical bases and types of ML-problems. The classical ML includes a block of classes on cluster analysis, classification and regression with examples in geoinformatics. It is followed by the topic of decision trees and ensembles of algorithms. Special attention is paid to the review of modern neural networks as ML-extension, algorithms and architectures of their work, features and differences with relevant examples in geoinformatics. The course continues with the production use of ML-methods. ML datasets are studied with options for ready-to-use and self-creation both. The concept of ML-model is introduced and Python frameworks for classic ML (Pandas, Scikit-learn, NumPy, Tree ensembles), then Deep learning (DL), such as Keras, TensorFlow and PyTorch, are considered. Creation and optimization of the ML-model in Python, which is part of the ML-project, organization and integration of ML-project into production are discussed for course development. Scientific publications containing tasks with spatial data (examples in agriculture, forecasting risks and natural phenomena, geomarketing) are used in order to demonstrate ML-capabilities to the students. An overview of modern software with ML-functions in geoinformatics is given. Course's references include researches of 2019–2025. The course materials are planned to be supplemented and updated using news from the various sources, papers, textbooks and specialized conferences on geo-artificial intelligence.

**KEYWORDS:** geo-artificial intelligence, machine learning, study course, master's program, spatial data

**ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня искусственный интеллект (ИИ) активно используется в науке, производстве и образовании [Ендовицкий, Гайдар, 2021; Иванов, 2022; Платонов, 2023; Benaich, 2024; Gong et al., 2017]. Для географических наук его применение к настоящему времени уже имеет историю работ как зарубежных [Openshaw, Openshaw, 1997], так и отечественных [Беляков, Розенберг, 2011] специалистов. Искусственный интеллект полезен в экологическом мониторинге, использовании природных ресурсов, разработке стратегий адаптации к изменению климата [Иванова, 2024; Diehr et al., 2025], в лесотранспортных проектах [Подольская, 2023] и других областях.

---

<sup>1</sup> Higher School of Economics (HSE University), 20, Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russia, e-mail: [epodolskaya@hse.ru](mailto:epodolskaya@hse.ru)

<sup>2</sup> Higher School of Economics (HSE University), 20, Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russia, e-mail: [masakirkina@gmail.com](mailto:masakirkina@gmail.com)

Существуют разные варианты понимания машинного обучения или МО (или Machine Learning, ML) как части ИИ. Известна точка зрения на деление методов ИИ на классическое МО и его развитие — глубокое обучение (ГО) и нейронные сети. Как сказано в обзорной статье 2023 г. [Habib, Okayli, 2023] о современных картографических трендах в перспективах деятельности Международной картографической ассоциации (International Cartographic Association, или ICA), МО представляется как автоматизированное распознавание и классификация объектов. В предлагаемой статье МО рассматривается как раздел ИИ, предметом которого является поиск методов решения задач путем обучения в процессе решения сходных задач. Для МО используются методы алгебры, математической статистики, дискретной математики, теории оптимизации, численные методы и другие разделы математики.

Машинному обучению посвящен ряд обзорных статей, например, [Binetti et al., 2024], анализирующие географический охват и используемые методы исследований. Среди МО-методов лидером по количеству работ является случайный лес (Random Forest), используемый и значительно преобладающий в работах стран Азии (порядка 56 %), затем Европы и Австралии (12 и 10 % соответственно); это показано на рис. 1.

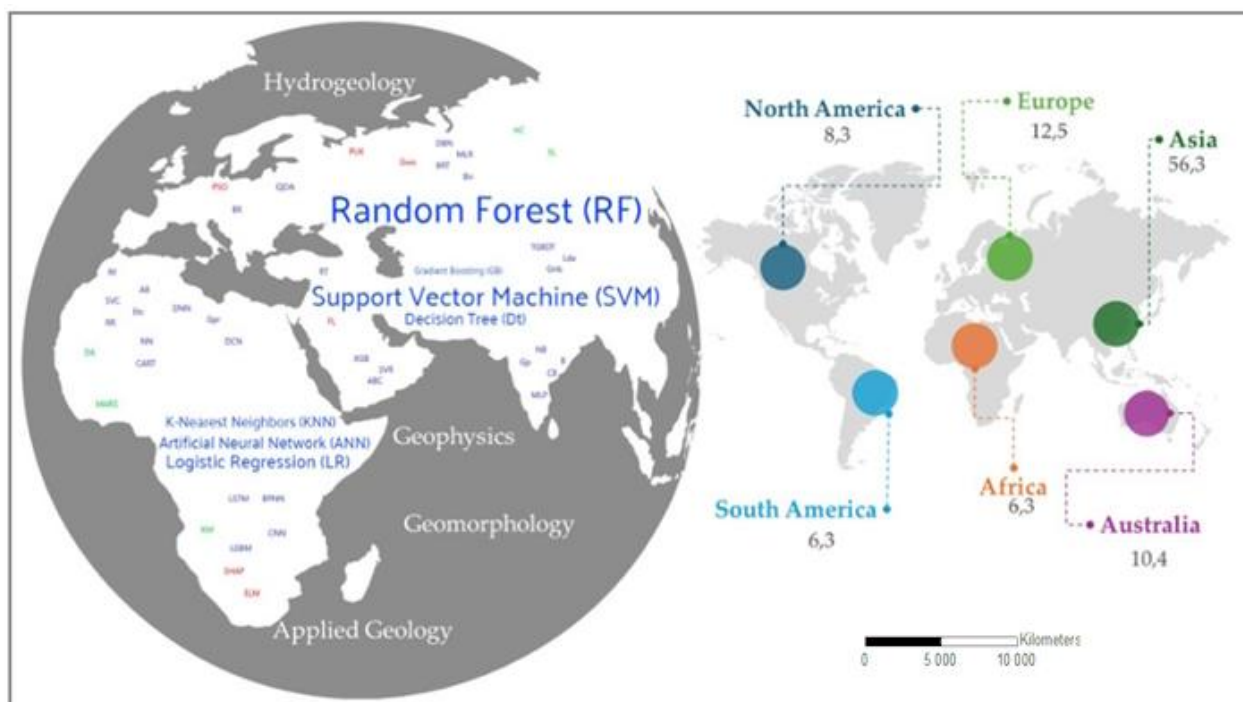


Рис. 1. Пространственный охват и методы исследований по МО в гидрологии, геофизике, геоморфологии и прикладной геологии из статьи [Binetti et al., 2024]

Fig. 1. Spatial extent and research ML-methods on hydrology, geophysics and applied geology from paper [Binetti et al., 2024]

Использование методов и технологий ИИ в России характеризуется региональной неоднородностью и значительным влиянием специфических особенностей отдельных регионов [Варламова, Корнейченко, 2024]. Как показали результаты проекта «Выявление фронтиров науки, отражающих наиболее значимые тематики глобальной научно-технологической повестки» тематического плана научно-исследовательских работ, выполненных в НИУ ВШЭ в 2024 г., МО и ГО (сверточные и рекуррентные нейросети) являются фронтирами мировой науки из топ-20 в ряде областей и направлений [Гохберг и др., 2025].

Курс «Машинное обучение в пространственных задачах»<sup>1</sup> разработан для магистратуры по пространственным данным и прикладной геоаналитике<sup>2</sup> Факультета географии и геоинформационных технологий (ФГИТ) НИУ ВШЭ. Курс читается в модулях 3 и 4 первого года обучения и рассматривает основные существующие направления МО, типичные решаемые задачи географического характера, а также вопросы корректной подготовки данных и оценки полученных результатов с учетом пространственной специфики. Основная цель — сориентировать слушателей в многообразии методов от регрессии до нейронных сетей и научить обоснованно выбирать методы МО для своих тематических задач, а также научить самостоятельно формулировать задачи, выбирать наиболее подходящие методы их решения и оценивать полученный результат с точки зрения географического контекста. Курс продолжает серию работ по ИИ-дисциплинам в геоинформатике [Подольская, 2024а; 2024б].

Полученные знания и навыки в дальнейшем используются студентами при изучении дисциплин «Математическое моделирование в пространственных задачах» и «Пространственное планирование на основе данных», а также «Геоаналитика в корпоративных и государственных системах принятия решений». Изучение дисциплины опирается на курсы магистратуры «Пространственные инструменты для решения экологических задач», «Основы анализа пространственных данных» ФГИТ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Курс «Машинное обучение в пространственных задачах» представляет собой систему методов МО с фокусом на решение пространственных задач. Курс состоит из 14 пар занятий, состоящих из лекции и семинара. Программа представлена в табл. 1.

Методической основой курса являются темы 1–4 классического МО. За ними следует тема 5 нейросетей как расширение классического МО и темы практического применения МО в геоинформатике 6–14. Курс открывается обзорной темой 1 с характеристикой МО и рекомендациями по литературе. Общий список источников для всего курса представлен в завершении курса.

Отдельной темой курса являются нейросети (тема 5) как часть и технологическое развитие методов классического МО. В лекционном и семинарском материале рассмотрены история и актуальные примеры архитектур нейросетей, представлены примеры решения гео задач с их помощью [Afroosheh, Askari, 2024]. Практический опыт авторов курса представлен использованием нейросетей для распознавания дорог: самыми востребованными архитектурами в этой теме продолжают быть UNet и ResNet. Самые современные архитектуры NL34\_LinkNet и DLinkNet34 показали лучшие результаты среди рассмотренных архитектур в задаче распознавания дорог [Подольская, Кокуркин, 2024].

Доменная библиотека TorchGeo<sup>3</sup>, являющаяся расширением PyTorch и появившаяся в 2022 г., содержит пространственные датасеты, примеры их использования и обученные модели. Алгоритм YOLO (You Only Look Once<sup>4</sup>), разработанный в 2016 г. и представляющий собой семейство нейросетевых архитектур, специализируется на обнаружении и распознавании объектов в реальном времени с обработкой нейросетью всего изображения сразу. Последние версии, включая YOLO11 (октябрь 2024 г.) и YOLOe (март 2025 г., [Wang et al., 2025]), показывают возможности в распознавании объектов на спутниковых и аэрофотоснимках. YOLO представляет интерес при обнаружении и сегментации таких

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <https://www.hse.ru/edu/courses/920885374> (дата обращения 07.07.2025)

<sup>2</sup> Электронный ресурс: <https://www.hse.ru/ma/geoanalytics/> (дата обращения 07.07.2025)

<sup>3</sup> Электронный ресурс: <https://pytorch.org/blog/geospatial-deep-learning-with-torchgeo/> (дата обращения 07.07.2025)

<sup>2</sup> Электронный ресурс: <https://docs.ultralytics.com/ru> (дата обращения 07.07.2025)

линейных объектов, как лесные просеки [Бахрамхан и др., 2024]. YOLOe обладает повышенной устойчивостью к различным условиям съемки и атмосферным явлениям.

Табл. 1. Содержание курса по МО в пространственных задачах  
Table 1. Content of ML in spatial tasks' course

Тема	Содержание
Тема 1. Место МО в Data Science и ИИ. Приложения и развитие МО как части Data Science. Математические основы МО.	МО в Data Science. Развитие ИИ во времени. Примеры областей МО. МО в научных публикациях. Модели в МО: сельское хозяйство, прогнозирование, пользовательские предпочтения. Приложения и прикладные вопросы использования МО. Электронные ресурсы сети Интернет и книги по МО. Типы задач и моделей МО.
Тема 2. Кластеризация в МО (обучение без учителя).	Задача, алгоритм и этапы кластеризации. Метод ближайших соседей (kNN). Метод k-средних (k-means). Плотностной алгоритм пространственной кластеризации с присутствием шума (DBSCAN). Иерархические методы кластеризации. Метрики кластеризации. Примеры в геоинформатике
Тема 3. Классификация и регрессия в МО (обучение с учителем).	Основные понятия и задачи классификации. Линейный классификатор. Метрики качества классификации. Модель линейной регрессии. Полиномиальная регрессия. Логистическая регрессия и ее модель. Примеры в геоинформатике.
Тема 4. Деревья решений и ансамбли алгоритмов в МО.	Решающие деревья. Случайный лес. Bagging. Boosting. Градиентный бустинг. Ансамблевые методы. Примеры в геоинформатике.
Тема 5. Нейросети (НС): обзор алгоритмов, их особенности и отличия.	Общие положения, вид и модель нейрона, обучение НС. НС в геоинформатике: история появления и развития. Способы интеграции искусственных НС и ГИС. Обзор алгоритмов НС. Обзор ПО для НС. НС в ГИС-пакетах. Примеры проектов с НС в геонауках.
Тема 6. Наборы данных для МО: источники, варианты использования, самостоятельное создание	Использование данных как основа МО. Обучающие данные как модели информации о входных признаках и соответствующих правильных ответах. Разнообразие, качество, представительность данных как основа наборов данных для МО. Подборка датасетов для МО. Источники готовых датасетов для МО (Dataset Search by Google, Visual Data Discovery, OpenMO, UCI: Machine Learning Repository, Awesome Public Datasets on Github, Kaggle, Amazon Datasets). Создание датасетов для МО. Примеры в геоинформатике.
Тема 7. Понятие модели МО. Python-frameworks для классического МО: Pandas, Scikit-Learn, NumPy, ансамбли деревьев (CatBoost, XGBoost, LightGBM).	Разработка приложений в сфере МО, понятие модели МО. Основы работы с Python. Элементарные операции с данными. Предобработка данных. Стандартизация и нормализация. Работа с деревьями решений. Работа с линейной регрессией. Сохранение и загрузка обученной модели. Работа с логистической регрессией. Решение задачи ранжирования признаков. Работа с полиномиальной регрессией. Работа с простейшими моделями нейронных сетей. Реализация алгоритма обучения нейронной сети. Регуляризация и сеть прямого распространения. Работа с библиотеками Keras и Theano. Создание и обучение модели сверточной сети. Загрузка и сохранение сложных моделей. Рекуррентные сети для прогнозирования временных рядов. Python-frameworks: Pandas, Scikit-learn, NumPy, ансамбли деревьев (CatBoost, XGBoost, LightGBM).
Тема 8. Понятие модели МО. Python-frameworks для глубокого МО: Keras, TensorFlow.	Использование компьютерного зрения (глубокого обучения) для классификации изображений, обнаружения объектов, семантической сегментации и сегментации экземпляров. Различия между Python фреймворками для глубокого обучения: Keras, TensorFlow.

Тема	Содержание
Тема 9. Понятие модели МО. Создание и оптимизация модели МО на Python.	Создание пайплайна обработки в Scikit-learn. Способы оптимизации модели МО, обзор AutoML сервисов.
Тема 10. МО-проект: этапы и организация, способы интеграции в производственные процессы.	Способы организации процесса внедрения машинного обучения в производственные процессы: постановка задачи, формулировка кейса, декомпозиция процесса на отдельные задачи, выполнение задач, встраивание результатов в производственную деятельность. Онлайн-обучение.
Тема 11. МО в научных публикациях. Примеры областей и модели МО для решения задач с геоданными.	Знакомство с ведущими научными журналами для поиска релевантных статей при выполнении исследований и внедрении результатов в рабочие процессы. Обзор научных направлений, использующих геоданные и модели МО.
Тема 12. МО в производственных задачах.	Производственные отрасли, использующие геоданные. Способы использования моделей МО в прикладных проектах. Сопоставление классических физических моделей процессов с моделями МО, поиск подходящих методов. МО в сельском хозяйстве, прогнозировании рисков и природных явлений, геомаркетинге, пользовательских предпочтениях.
Тема 13. МО в геоинформатике. Обзор программного обеспечения.	Существующие инструменты для использования МО в геоинформатике. Программное обеспечение для выполнения задач машинного обучения. Развитие МО как части Data Science.
Тема 14. Этические и правовые вопросы использования данных и результатов МО-проектов	Этические документы в области ИИ. ИИ в России. Проект Кодекса по ИИ. Публикации по этике ИИ в России. Перспективы развития этики ИИ. Правовые проблемы МО. ИИ и ChatGPT.

Тема 6 дает представление об источниках и вариантах создания наборов данных для МО, самостоятельное создание датасета состоит в подготовке данных, метаданных и выбора лицензии использования.

В ходе освоения темы 7 студенты расширили свои теоретические и практические знания по МО, охватывая как классические алгоритмы, так и базовые элементы ГО. Они изучили принципы построения моделей МО, включая работу с данными с использованием Python-фреймворков — Pandas, NumPy и Scikit-learn, а также освоили такие современные библиотеки для ансамблей деревьев, как CatBoost, XGBoost и LightGBM. Особое внимание было уделено этапам предобработки данных, включая стандартизацию и нормализацию, а также практическому применению методов линейной, логистической и полиномиальной регрессии, деревьев решений и методов ранжирования признаков. Студенты научились сохранять и загружать обученные модели МО. Они реализовали также простейшие полносвязные архитектуры нейросетей, применили регуляризацию и обучили сверточные и рекуррентные нейросети. В рамках изучения методов временного прогнозирования были рассмотрены как статистические модели, такие как ARIMA, так и современные подходы на основе глубокого обучения, включая LSTM-сети. Кроме того, студенты овладели инструментом Facebook Prophet, предназначенным для автоматизированного прогнозирования временных рядов с учетом сезонных и календарных факторов.

В рамках изучения темы 8 студенты познакомились с понятием модели МО, архитектурой нейронных сетей (включая полносвязные, сверточные, рекуррентные и трансформеры), принципами работы весов и функций активации, обучением с использованием градиентного спуска и методов оптимизации, а также с проблемами обобщения и переобучения. Особое внимание было уделено применению глубокого обучения в задачах компьютерного зрения (Computer Vision, или CV): классификации изображений, обнаружении

объектов и сегментации. Изучены и сопоставлены современные Python-фреймворки для глубокого обучения — Keras, TensorFlow и PyTorch — с акцентом на различия в архитектуре, уровне абстракции и удобстве использования.

В рамках изучения темы 9 студенты углубились в понятие модели машинного обучения и освоили практические аспекты ее создания и оптимизации с использованием языка Python. Были рассмотрены этапы построения и настройки модели, включая разработку полного пайплайна обработки данных с использованием библиотеки Scikit-learn. Особое внимание уделялось методам повышения качества модели, включая различные подходы к подбору гиперпараметров, в т. ч. с применением фреймворка Optuna. Также был проведен обзор современных AutoML-сервисов, позволяющих автоматизировать процесс построения, настройки и оценки моделей машинного обучения.

При изучении темы 10 студенты познакомились с ключевыми этапами реализации проекта машинного обучения и способами его интеграции в производственные процессы. Рассматривались методы формализации задач: от постановки цели и формулировки бизнес-кейса до декомпозиции процесса на отдельные этапы, выполнения задач и последующего внедрения полученных решений в рабочие процессы. Особое внимание было уделено практическим аспектам организации МО-проектов, включая выбор архитектуры, оценку качества решений, их интерпретируемость и сопровождение.

Темы 11–13 посвящены научному и производственному опыту решения гео задач при помощи МО. Курс завершается рассмотрением этических и правовых вопросов использования данных и результатов МО-проектов с учетом мирового и российского опыта (тема 14).

Практические задачи на занятиях выполняются на языке программирования Python при помощи Jupyter Notebook в облачном сервисе Google Colab<sup>1</sup>. Используются Руководства библиотек машинного обучения Scikit-learn<sup>2</sup>, Keras<sup>3</sup> и TensorFlow<sup>4</sup> в Python. Обработка временных рядов выполняется с помощью ARIMA, Prophet, LSTM: оптимизация расчетов — с помощью подбора гиперпараметров (Optuna); для автоматизации задач используются инструменты AutoML. В течение курса студент выполняет практикумы и готовит один завершающий курс тематический ГИС-проект МО, который состоит в решении гео задачи, предлагаемой самим студентом и связанной с темой курсового проектирования 1-го года обучения магистратуры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В курсе по машинному обучению в решении пространственных задач студенты магистратуры знакомятся с комплексом методов МО, учатся понимать их границы применимости и отличия от других математических методов. В результате выполнения семинарских работ курса студент владеет подходами и методами перевода географической задачи на язык машинного обучения, может организовать исследование от этапов постановки задачи, выбора метода и практической реализации до интерпретации получаемых результатов.

Существенной частью оценивания курса является выполнение и презентация ГИС-проекта, в котором используется МО. В курсе 2025 г. были представлены проекты большого тематического разнообразия. Отметим завершенность исследования в отчетных работах ряда студентов: «Обнаружение градоопасных состояний атмосферы с помощью машинного обучения на полях метеовеличин», «Доступность парков в Невском районе

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <https://colab.google/> (дата обращения 07.07.2025)

<sup>2</sup> Электронный ресурс: [https://scikit-learn.org/stable/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html) (дата обращения 07.07.2025)

<sup>3</sup> Электронный ресурс: <https://keras.io/guides/> (дата обращения 07.07.2025)

<sup>4</sup> Электронный ресурс: <https://www.tensorflow.org/learn?hl=ru> (дата обращения 07.07.2025)

Санкт-Петербурга: ГИС-анализ и модели предсказания» и «Классификация породного состава фотограмметрических облаков точек деревьев», «Анализ расположения аэродромов и вертодромов Красноярского края в зависимости от плотности дорог в лесничествах», «Снести нельзя помиловать: принятие решений о судьбе заброшенных зданий с помощью моделей машинного обучения» для Московской области, «Типирование регионов РФ на основе пространственной структуры неоднородности распределения доходов физических лиц». Последняя тема является примером классического машинного обучения — кластерного анализа (обучение без учителя) с количеством кластеров 5 и 6 (рис. 2).

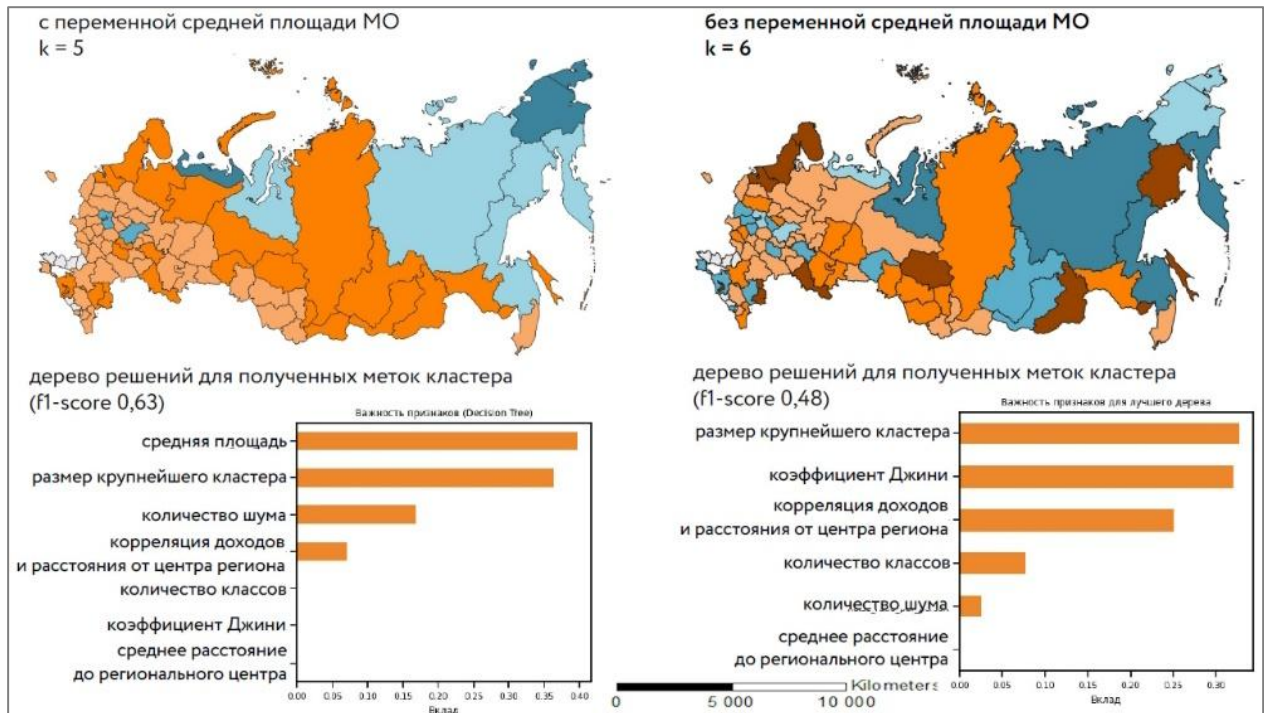


Рис. 2. Регионы России по распределению доходов физических лиц  
Fig. 2. Russian regions by personal income distribution

## ВЫВОДЫ

Авторы курса представили свой образовательный и производственный опыт использования методов и технологий МО для студентов магистратуры ФГиГТ НИУ ВШЭ. Результаты прочитанного в 2025 г. курса, материалы лекций и семинарские задания будут дополняться с учетом новостей ИИ. Исследовательские возможности связаны с концептуализацией новых моделей архитектуры геоИИ (GeoAI), учитывающих особенности пространственных данных [Boutayeb et al., 2024]. Отмечается также необходимость интеграции объяснимого ИИ (AI explainability) в обработку пространственных данных. Термин геоИИ используется в ряде работ [Janowicza et al., 2020; Lunga et al., 2022; Lee, Li, 2025; Mai et al., 2025].

Инструменты искусственного интеллекта в решении геозадач стали особенно актуальными с появлением первого официального релиза ChatGPT в ноябре 2022 г. Отметим ряд статей 2023 г. [Juhasz et al., 2023; Mooney et al., 2023]. Использование генеративных сетей в публикациях 2024 г. представлено ChatGPT [Candrasari et al., 2024; Gultom et al., 2024], его модификациями MapGPT [Zhang, He et al., 2024] и GeoGPT [Zhang, Wei et al.,

2024]. Роль нового формата поисковой системы в сети Интернет и его ограничения использования показаны в российской статье о ChatGPT от 28 апреля 2025 г.<sup>1</sup>

Основным учебным пособием курса по состоянию на весну-лето 2025 г. продолжает быть Handbook of Geospatial Artificial Intelligence [Gao et al., 2024]. Руководство дает характеристику геоИИ, поясняет основные концепции, методы, модели и технологии, а также обсуждает последние достижения, исследовательские инструменты и приложения. Дополнительными рекомендациями являются работы [Платонов, 2023; Факур, Груздев, 2025; Lansley et al., 2019; Chatterjee et al., 2023].

К 2025 г. автоматизированное распознавание объектов при помощи нейросетей уже имеет историю практической разработки. Создаются и представляются в открытый доступ датасеты по регионам мира, совершенствуются методы и технологии ГО с архитектурами нейросетей разной сложности, улучшается точность распознавания объектов разной локализации, пример в тезисах конференции [Подольская, Шайхметов, 2025]. Методы МО систематизируются, в апреле 2025 г. известна попытка представления в виде периодической системы, исследования выполнены в Массачусетском Технологическом институте — MIT.<sup>2</sup>

В классическом МО одной из ключевых и используемых для кластеризации, классификации и регрессии библиотек продолжает оставаться Scikit-learn, для глубокого обучения преимущественно используется фреймворк PyTorch.

Как показал опыт проведения курса в первый год работы магистратуры «Пространственные данные и прикладная геоаналитика», он был востребован и интересен студентам разных геоспециальностей НИУ ВШЭ и других вузов, продолжающих образование после бакалавриата. Экзамен по курсу с суммарным учетом семинаров и защиты проекта показал четыре оценки «8» и четыре оценки «9» по десятибалльной системе оценивания НИУ ВШЭ, что соответствует оценке «отлично» по пятибалльной системе. Материал курса был применен большинством студентов группы при выполнении курсовой работы 1-го курса магистратуры.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Фонда Потанина в 1 цикле конкурса «Профессиональное развитие», номинация «Индивидуальная траектория» 2025 г., заявка ПР25-000459. Работа также используется в лесотранспортном моделировании при выполнении государственного задания Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов имени А. С. Исаева Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН) по теме «Биоразнообразие и экосистемные функции лесов» (Регистрационный номер НИОКТР 124013000750-1).

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was supported by the Potanin Foundation in the 1st cycle of the competition “Professional Development”, nomination “Individual Trajectory” in 2025, application PR25-000459. Results of the work are used in the forestry transport modeling within the frame of state contract of Isaev Centre for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (CEPF RAS) on the topic “Biodiversity and Ecosystem Functions of Forests” (R&D project registration number 124013000750-1).

---

<sup>1</sup> Электронный ресурс: <https://monocle.ru/monocle/2025/18/chatgpt-a-chto-v-sukhom-ostatke/> (дата обращения 07.07.2025)

<sup>2</sup> Электронный ресурс: <https://news.mit.edu/2025/machine-learning-periodic-table-could-fuel-ai-discovery-042> (дата обращения 07.07.2025)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахрамхан Я. О., Ермаков Д. М., Подольская Е. С.* Опыт разработки алгоритма выделения лесных просек под линиями электропередач в лесных ландшафтах на основе данных Sentinel-2. XXII Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Тезисы доклада. 11–15 ноября 2024. М.: ИКИ РАН, 2024.
- Беляков С. Л., Розенберг И. Н.* Интеллектуальные геоинформационные системы. Железнодорожный транспорт, 2011. № 4. С. 32–37.
- Варламова Ю. А., Корнейченко Е. Н.* Искусственный интеллект в российских регионах. Russian Journal of Economics and Law, 2024. № 18(3). С. 641–662. DOI: 10.21202/2782-2923.2024.3.641-662.
- Гохберг Л. М., Яцкин Д. В., Гребенюк А. Ю.* Топ-20 фронтиров мировой науки: 2024. М.: Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. Электронный ресурс: <https://issek.hse.ru/news/1021755371.html> (дата обращения 07.07.2025).
- Ендовицкий Д. А., Гайдар К. М.* Университетская наука и образование в контексте искусственного интеллекта. Высшее образование в России, 2021. Т. 30. № 6. С. 121–131. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-6-121-131.
- Иванов В. М.* Интеллектуальные системы: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2022. 91 с.
- Иванова А. П.* Роль искусственного интеллекта в решении проблемы изменения климата (Обзорная статья). Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 4: Государство и право, 2024. № 1. С. 178–188. DOI: 10.31249/iajpravo/2024.01.12.
- Платонов А. В.* Машинное обучение: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2023. 85 с.
- Подольская Е. С.* Методы и ГИС-инструменты машинного обучения с открытым кодом в лесном транспортном моделировании. Вопросы лесной науки, 2023. Т. 6. № 3. С. 1–10. DOI: 10.31509/2658-607x-202363-130.
- Подольская Е. С.* Геоинформационные технологии в интеллектуальных системах как дисциплина в программе подготовки студентов по специальности «Картография и геоинформатика». Геодезия и картография, 2024а. № 8. С. 51–60. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1010-8-51-60.
- Подольская Е. С.* Опыт подготовки и проведения учебного курса по интеллектуальным геоинформационным системам для студентов вузов. Материалы Первой международной научно-практической конференции «Цифровая реальность: новые вызовы в картографии, ГИС и ДЗЗ». Алматы, 2024б. С. 146–149. DOI: 10.13140/RG.2.2.35745.62563.
- Подольская Е. С., Кокуркин А. Д.* Результаты тестирования архитектур нейросетей для распознавания дорог. Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. Материалы XI Международной научной конференции. Красноярск: СФУ, 2024. С. 323–326.
- Подольская Е. С., Шайахметов А. Р.* Современные нейросети для распознавания объектов инфраструктуры лесного хозяйства. Тезисы IX Всероссийской (с международным участием) конференции «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии». М., 2025.
- Факур М., Груздев А.* Причинно-следственный анализ для смелых и честных. М.: ДМК Пресс, 2025. 594 с.
- Afroosheh S., Askari M.* Fusion of Deep Learning and GIS for Advanced Remote Sensing Image Analysis. Computer Vision and Pattern Recognition, 2024. P. 1-9. DOI: 10.48550/arXiv.2412.19856.

- Benaich N.* State of AI Report. Air Street Capital. October 2024. Web resource: <https://www.stateof.ai/> (accessed 07.07.2025).
- Binetti M. S., Massarelli C., Uricchio V. F.* Machine Learning in Geosciences: A Review of Complex Environmental Monitoring Applications. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 2024. No. 6. P. 1263–1280. DOI: 10.3390/make6020059.
- Boutayeb A., Lahsen-cherif I., El Khadimi A.* A Comprehensive GeoAI Review: Progress, Challenges and Outlooks. *ArXiv.org*, 2024. arXiv:2412.11643. P. 1–50. DOI: 10.48550/arXiv.2412.11643. Web resource: <https://arxiv.org/abs/2412.11643> (accessed 02.06.2025).
- Candrasari R., Makulua J., Noviasmy Y., Makulua K., Siminto S.* GPT Chat: Useful or Not in Supporting Learning in Higher Education. *International Journal of Language and Ubiquitous Learning*, 2024. No. 2(2). P. 113–125. DOI: 10.70177/ijlul.v2i2.963.
- Chatterjee P., Yazdani M., Fernandez-Navarro F., Perez-Rodriguez J.* *Machine Learning Algorithms and Applications in Engineering* (1st ed.). CRC Press, 2023. 328 p. DOI: 10.1201/9781003104858.
- Diehr J., Ogunyiola A., Dada O.* Artificial Intelligence and Machine Learning-Powered GIS for Proactive Disaster Resilience in a Changing Climate. *Annals of GIS*, 2025. P. 1–14. DOI: 10.1080/19475683.2025.2473596.
- Gao S., Hu Y., Li W.* *Handbook of Geospatial Artificial Intelligence* (1st ed.). CRC Press, 2023. 468 p. DOI: 10.1201/9781003308423.
- Gong J., Yue P., Woldai T., Tsai F., Vyas A., Wu H., Gruen A., Wang L., Musikhin I.* *Geoinformatics Education and Outreach: Looking Forward*. *Geo-Spatial Information Science*, 2017. No. 20(2). P. 209–217. DOI: 10.1080/10095020.2017.1337319.
- Gultom A. M., Ashadi A., Fatnalaila F., Azizah S. N., Rosyidah D. M.* The Use of Chat GPT for Academic Writing in Higher Education. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 2024. No. 3(8). P. 1713–1730. DOI: 10.55927/fjsr.v3i8.10162.
- Habib M., Okayli M.* An Overview of Modern Cartographic Trends Aligned with the ICA's Perspective. *RIG*, 2023. P. 1–16. DOI: 10.32604/rig.2023.043399.
- Janowicza K., Gaob S., McKenziec G., Hud Y., Bhadurie B.* GeoAI: Spatially Explicit Artificial Intelligence Techniques for Geographic Knowledge Discovery and Beyond. *International Journal of Geographical Information Science*, 2020. No. 34(4). P. 625–636.
- Juhasz L., Mooney P., Hochmair H. H., Guan B.* ChatGPT as a Mapping Assistant: A Novel Method to Enrich Maps with Generative AI and Content Derived from Street-Level Photographs. *Spatial Data Science Symposium. Paper Proceedings*. UC Santa Barbara Center for Spatial Studies, 2023. P. 1–13. DOI: 10.25436/E2ZW27.
- Lansley G., De Smith M., Goodchild M., Longley P.* *Big Data and Geospatial Analysis. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Edinburgh: The Winchester Press, 2019. P. 547–570.
- Lee H., Li W.* Geospatial Artificial Intelligence for Satellite-Based Flood Extent Mapping: Concepts, Advances, and Future Perspectives. *ArXiv*, 2025. arXiv:2504.02214v1. P. 1–11. DOI: 10.48550/arXiv.2504.02214. Web resource: <https://arxiv.org/abs/2504.02214> (accessed 02.06.2025).
- Lunga D., Hu Y., Newsam S., Gao S., Martins B., Yang L., Deng X.* GeoAI at ACM SIGSPATIAL: The New Frontier of Geospatial Artificial Intelligence Research. *SIGSPATIAL Special*, 2022. No. 13(3). P. 21–32.

*Mai G., Xie Y., Jia X., Lao N., Rao J., Zhu Q., Liu Z., Chiang Y.-Y., Jiao J.* Towards the Next Generation of GeoAI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2025. V. 136. P. 1–21. DOI: 10.1016/j.jag.2025.104368.

*Mooney P., Cui W., Guan B., Juhasz L.* Towards Understanding the Geospatial Skills of ChatGPT: Taking a Geographic Information Systems (GIS) Exam. *GeoAI'23: Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery*, 2023. P. 85–94.

*Openshaw S., Openshaw C.* *Artificial Intelligence in Geography*. Chichester: Wiley, 1997. 352 p.

*Wang A., Liu L., Chen H., Lin Z., Han J., Ding G.* YOLOE: Real-Time Seeing Anything. *ArXiv*, 2025. arXiv:2503.07465v1. P. 1–15. DOI: 10.48550/arXiv.2503.07465. Web resource: <https://arxiv.org/abs/2503.07465> (accessed 02.06.2025).

*Zhang Y., He Z., Li J., Lin J., Guan Q., Yu W.* MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools. *Cartography and Geographic Information Science*, 2024. P. 1–25. DOI: 10.1080/15230406.2024.2404868.

*Zhang Y., Wei C., He Z., Yu W.* GeoGPT: An Assistant for Understanding and Processing Geospatial Tasks. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2024. No. 131. P. 1–21.

## REFERENCES

*Afroosheh S., Askari M.* Fusion of Deep Learning and GIS for Advanced Remote Sensing Image Analysis. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2024. P. 1–9. DOI: 10.48550/arXiv.2412.19856.

*Bakhramkhan Ya. O., Ermakov D. M., Podolskaia E. S.* Experience in Developing an Algorithm for Identifying Forest Clearings Under Power Lines in Forest Landscapes Based on Sentinel-2 Data. XII International Conference “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”. November 11–15, 2024. Abstracts of the report (in Russian). Moscow: Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences.

*Belyakov S. L., Rosenberg I. N.* Intelligent Geoinformation Systems. *Zheleznodorozhny Transport (Railway Transport)*, 2011. No. 4. P. 32–37 (in Russian).

*Benaich N.* State of AI Report. *Air Street Capital*. October 2024. Web resource: <https://www.stateof.ai/> (accessed 07.07.2025)

*Binetti M. S., Massarelli C., Uricchio V. F.* Machine Learning in Geosciences: A Review of Complex Environmental Monitoring Applications. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 2024. No. 6. P. 1263–1280. DOI: 10.3390/make6020059.

*Boutayeb A., Lahsen-cherif I., El Khadimi A.* A Comprehensive GeoAI Review: Progress, Challenges and Outlooks. *ArXiv.org*, 2024. arXiv:2412.11643. P. 1–50. DOI: 10.48550/arXiv.2412.11643. Web resource: <https://arxiv.org/abs/2412.11643> (accessed 02.06.2025).

*Candrasari R., Makulua J., Noviasmy Y., Makulua K., Siminto S.* GPT Chat: Useful or Not in Supporting Learning in Higher Education. *International Journal of Language and Ubiquitous Learning*, 2024. No. 2(2). P. 113–125. DOI: 10.70177/ijlul.v2i2.963.

*Chatterjee P., Yazdani M., Fernandez-Navarro F., Perez-Rodriguez J.* *Machine Learning Algorithms and Applications in Engineering (1st ed.)*. CRC Press, 2023. 328 p. DOI: 10.1201/9781003104858.

*Diehr J., Ogunyiola A., Dada O.* Artificial Intelligence and Machine Learning-Powered GIS for Proactive Disaster Resilience in a Changing Climate. *Annals of GIS*, 2025. P. 1–14. DOI: 10.1080/19475683.2025.2473596.

- Endovitsky D. A., Gaidar K. M.* University Science and Education in the Context of Artificial Intelligence. *Vysshee Obrazovanie v Rossii (Higher Education in Russia)*, 2021. V. 30. No. 6. P. 121–131 (in Russian). DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-6-121-131.
- Fakur M., Gruzdev A.* Cause-and-Effect Analysis for the Brave and Honest. Moscow: DMK Press, 2025. 594 p. (in Russian).
- Gao S., Hu Y., Li W.* Handbook of Geospatial Artificial Intelligence (1st ed.). CRC Press, 2023. 468 p. DOI: 10.1201/9781003308423.
- Gokhberg L. M., Yatskin D. V., Grebenyuk A. Yu.* Top 20 Frontiers of World Science: 2024. Moscow, Institute for Statistical Research and Economics of Knowledge of HSE. Web resource: <https://issek.hse.ru/news/1021755371.html> (accessed 07.07.2025) (in Russian).
- Gong J., Yue P., Woldai T., Tsai F., Vyas A., Wu H., Gruen A., Wang L., Musikhin I.* Geoinformatics Education and Outreach: Looking Forward. *Geo-Spatial Information Science*, 2017. No. 20(2). P. 209–217. DOI: 10.1080/10095020.2017.1337319.
- Gultom A. M., Ashadi A., Fatnalaila F., Azizah S. N., Rosyidah D. M.* The Use of Chat GPT for Academic Writing in Higher Education. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 2024. No. 3(8). P. 1713–1730. DOI: 10.55927/fjsr.v3i8.10162.
- Habib M., Okayli M.* An Overview of Modern Cartographic Trends Aligned with the ICA's Perspective. *RIG*, 2023. P. 1–16. DOI: 10.32604/rig.2023.043399.
- Ivanov V. M.* Intelligent Systems: A Textbook for Universities. Moscow: Yurait, 2022. 91 p. (in Russian).
- Ivanova A. P.* The Role of Artificial Intelligence in Solving the Problem of Climate Change (Review Article). *Social Sciences and Humanities. Domestic and Foreign Literature. Series 4: State and Law*, 2024. No. 1. P. 178–188 (in Russian). DOI: 10.31249 /iajpravo/2024.01.12.
- Janowicza K., Gaob S., McKenziec G., Hud Y., Bhadurie B.* GeoAI: Spatially Explicit Artificial Intelligence Techniques for Geographic Knowledge Discovery and Beyond. *International Journal of Geographical Information Science*, 2020. No. 34(4). P. 625–636.
- Juhasz L., Mooney P., Hochmair H. H., Guan B.* ChatGPT as a Mapping Assistant: A Novel Method to Enrich Maps with Generative AI and Content Derived from Street-Level Photographs. *Spatial Data Science Symposium. Paper Proceedings. UC Santa Barbara Center for Spatial Studies*, 2023. P. 1–13. DOI: 10.25436/E2ZW27.
- Lansley G., De Smith M., Goodchild M., Longley P.* Big Data and Geospatial Analysis. *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Edinburgh: The Winchelsea Press, 2019. P. 547–570.
- Lee H., Li W.* Geospatial Artificial Intelligence for Satellite-Based Flood Extent Mapping: Concepts, Advances, and Future Perspectives. *ArXiv*, 2025. arXiv:2504.02214v1. P. 1–11. DOI: 10.48550/arXiv.2504.02214. Web resource: <https://arxiv.org/abs/2504.02214> (accessed 02.06.2025).
- Lunga D., Hu Y., Newsam S., Gao S., Martins B., Yang L., Deng X.* GeoAI at ACM SIGSPATIAL: The New Frontier of Geospatial Artificial Intelligence Research. *SIGSPATIAL Special*, 2022. No. 13(3). P. 21–32.
- Mai G., Xie Y., Jia X., Lao N., Rao J., Zhu Q., Liu Z., Chiang Y.-Y., Jiao J.* Towards the Next Generation of GeoAI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2025. V. 136. P. 1–21. DOI: 10.1016/j.jag.2025.104368.
- Mooney P., Cui W., Guan B., Juhasz L.* Towards Understanding the Geospatial Skills of ChatGPT: Taking a Geographic Information Systems (GIS) Exam. *GeoAI'23: Proceedings of the 6th ACM*

SIGSPATIAL International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery, 2023. P. 85–94.

*Openshaw S., Openshaw C.* Artificial Intelligence in Geography. Chichester: Wiley, 1997. 352 p.

*Platonov A. V.* Machine Learning: A Textbook for Universities. Moscow: Yurait, 2023. 85 p. (in Russian).

*Podolskaia E. S.* Open Sources Machine Learning Methods and GIS Tools in Forest Transport Modeling. *Forest Science Issues*, 2023. V. 6. No. 3. P. 1–10 (in Russian). DOI: 10.31509/2658-607x-202363-130.

*Podolskaia E. S.* Geoinformation Technologies in Intelligent Systems as a Discipline in the Training Program for Students Majoring in Cartography and Geoinformatics. *Geodesy and Cartography*, 2024a. No. 8. P. 51–60 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1010-8-51-60.

*Podolskaia E. S.* Experience in Preparing and Conducting Courses on Intelligent Geographic Information Systems for University Students. Proceedings of First International Scientific and Practical Conference “Digital Reality: New Challenges in Cartography, GIS and Remote Sensing”. November 7–8. Almaty, 2024b. P. 146–149 (in Russian). DOI: 10.13140/RG.2.2.35745.62563.

*Podolskaia E. S., Kokurkin A. D.* Results of Testing Neural Network Architectures for Road Recognition. *Regional Problems of Earth Remote Sensing. Proceedings of the XI International Scientific Conference*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2024. P. 323–326 (in Russian).

*Podolskaia E. S., Shayakhmetov A. R.* Modern Neural Networks for Recognition of Forestry Infrastructure Objects. Abstracts of the IX All-Russian (With International Participation) Conference “Aerospace Methods and Geoinformation Technologies in Forestry and Ecology” (in Russian). Moscow, 2025.

*Varlamova J. A., Korneychenko E. N.* Artificial Intelligence in the Russian Regions. *Russian Journal of Economics and Law*, 2024. No. 18(3). P. 641–662 (in Russian). DOI: 10.21202/2782-2923.2024.3.641-662.

*Wang A., Liu L., Chen H., Lin Z., Han J., Ding G.* YOLOE: Real-Time Seeing Anything. ArXiv, 2025. arXiv:2503.07465v1. P. 1–15. DOI: 10.48550/arXiv.2503.07465. Web resource: <https://arxiv.org/abs/2503.07465> (accessed 02.06.2025).

*Zhang Y., He Z., Li J., Lin J., Guan Q., Yu W.* MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools. *Cartography and Geographic Information Science*, 2024. P. 1–25. DOI: 10.1080/15230406.2024.2404868.

*Zhang Y., Wei C., He Z., Yu W.* GeoGPT: An Assistant for Understanding and Processing Geospatial Tasks. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2024. No. 131. P. 1–21.