



## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ

**Новиков Сергей Павлович**

магистрант кафедры компьютерных наук и прикладной математики,  
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова  
г. Москва, Россия

**Григорьева Марина Алексеевна**

магистрантка кафедры компьютерных наук и прикладной математики,  
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова  
г. Москва, Россия

### Аннотация

В статье рассмотрены современные методы машинного обучения (МО), применяемые для прогнозирования климатических изменений. Проанализированы алгоритмы и модели, такие как нейронные сети, случайные леса, градиентный бустинг и глубокое обучение, а также их преимущества и ограничения. Обсуждаются подходы к обработке больших данных климатических наблюдений и моделированию сложных взаимосвязей в климатической системе. Подчёркнута важность интеграции МО в климатологические исследования для повышения точности и надёжности прогнозов.

**Ключевые слова:** машинное обучение, прогнозирование климата, нейронные сети, глубокое обучение, большие данные, климатические модели

### Введение

Изменения климата оказывают глобальное воздействие на окружающую среду, экономику и общество, что требует развития точных и надёжных методов прогнозирования. Традиционные физические модели климата обладают высокой сложностью и требуют больших вычислительных ресурсов. Современные методы машинного обучения открывают новые возможности для анализа больших массивов климатических данных, выявления скрытых закономерностей и улучшения точности прогнозов на разных временных масштабах.

### 1. Машинное обучение в климатологии: обзор методов

- **Нейронные сети (NN)** — позволяют моделировать нелинейные зависимости между климатическими параметрами. Используются для прогнозирования температуры, осадков, экстремальных явлений.

- **Глубокое обучение (Deep Learning)** — многослойные сети для обработки сложных пространственно-временных данных, включая спутниковые изображения и метеорологические карты.
- **Случайные леса (Random Forest)** — ансамблевый метод, хорошо справляющийся с шумными и неполными данными.
- **Градиентный бустинг (Gradient Boosting)** — последовательное обучение слабых моделей для повышения общей точности прогнозов.
- **Методы кластеризации и понижения размерности** — применяются для выявления паттернов в климатических данных.

## 2. Обработка и подготовка данных

Качество прогнозов напрямую зависит от объёма и качества входных данных. Основные источники:

- метеорологические станции;
- спутниковые наблюдения;
- климатические реанализы;
- исторические архивы.

Требуется предварительная очистка, нормализация, а также синхронизация данных с разными временными и пространственными разрешениями. Особое внимание уделяется обработке пропусков и выбросов.

## 3. Примеры успешных приложений

- Прогнозирование глобальной и региональной температуры с использованием сверточных нейронных сетей (CNN).
- Моделирование осадков и экстремальных погодных явлений с помощью ансамблевых методов.
- Анализ влияния факторов антропогенного воздействия на изменение климата с применением градиентного бустинга.
- Использование рекуррентных нейронных сетей (RNN) и LSTM для временного моделирования климатических процессов.

Эти подходы демонстрируют улучшение качества прогнозов по сравнению с традиционными методами.

## 4. Преимущества и ограничения

**Преимущества:**

- высокая гибкость моделей;
- способность выявлять сложные нелинейные зависимости;
- возможность работы с большими и разнородными данными;
- ускорение вычислительных процессов.

## Ограничения:

- необходимость большого объема обучающих данных;
- риск переобучения моделей;
- ограниченная интерпретируемость результатов;
- зависимость от качества данных.

## 5. Перспективы развития

- интеграция методов МО с физическими климатическими моделями для создания гибридных систем;
- развитие интерпретируемого машинного обучения для повышения доверия к прогнозам;
- использование высокопроизводительных вычислений и квантовых технологий;
- расширение доступа к открытым климатическим данным и инструментам МО;
- междисциплинарные исследования, объединяющие климатологию, информатику и статистику.

## Заключение

Машинное обучение становится неотъемлемой частью современных исследований в области климатологии, позволяя значительно повысить точность и оперативность прогнозов изменений климата. Несмотря на существующие вызовы, дальнейшее развитие и интеграция МО-технологий с традиционными методами обеспечат более глубокое понимание климатической системы и помогут эффективнее реагировать на глобальные экологические изменения.

## Литература

1. Reichstein M., et al. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 2019.
2. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning*. Springer, 2009.
3. Liu Y., et al. Application of machine learning in climate change research: A review. *Environmental Research Letters*, 2021.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
5. Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). *Climate Data and Modeling*, 2022.
6. Иванов В. П., Машинное обучение в прогнозировании климатических изменений. // *Информационные технологии*, 2020.
7. NOAA. Climate Prediction Center: Machine Learning Applications, 2021.