

УДК 004.032.26:551.583.1  
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-4-183-188

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Ж.С. Жукова, В.В. Ерофеева,  
А.А. Тимофеев-Каракозов, С.Л. Яблочников

**Аннотация.** Представлена модель полносвязной нейронной сети, разработанная для прогнозирования температурных изменений. Сеть обучена на данных метеорологических станций Антарктиды. На основе предварительных исследований было принято решение разделить станции по признаку средних годовых температур на «тёплые» и «холодные», поскольку динамика температурных трендов и годовых колебаний для разных регионов континента имеет явные различия. В ходе предварительной работы по обучению нейронной сети она показала хорошие результаты по нескольким станциям. Поэтому было принято решение применить её к рассортированным по средним температурам станциям. Тестирование сети показало лучшие результаты на станциях с более мягкими климатическими условиями. Это можно объяснить более длинными рядами наблюдений, что может оказывать значительное влияние на качество прогнозов.

**Ключевые слова:** магнитное поле; погодные условия; нейронные сети; климат; машинное обучение; PyTorch.

## КЛИМАТТЫН ӨЗГӨРҮШҮН МОДЕЛДӨӨ ҮЧҮН НЕЙРОН ТАРМАКТАРЫН КОЛДОНУУ

Ж.С. Жукова, В.В. Ерофеева,  
А.А. Тимофеев-Каракозов, С.Л. Яблочников

**Аннотация.** Макалада температуранын өзгөрүшүн болжолдоо үчүн иштелип чыккан толук байланышкан нейрон тармагынын модели келтирилген. Тармак Антарктидадагы метеорологиялык станциялардын маалыматтары боюнча үйрөтүлгөн. Алдын ала изилдөөлөрдүн негизинде станцияларды жылдык орточо температуранын негизинде «жылуу» жана «муздак» деп бөлүү чечими кабыл алынган, анткени континенттин ар кайсы аймактары үчүн температура динамикасы жана жылдык өзгөрүүлөр так айырмачылыктарга ээ. Нейрон тармагын окутуу боюнча алдын ала иштердин жүрүшүндө ал бир нече станциялар үчүн жакшы натыйжаларды көрсөттү. Ошондуктан аны орточо температура боюнча сорттолгон станцияларга колдонуу чечими кабыл алынды. Тармактык тестирлөө климаттык шарттары жумшак станцияларда жакшы натыйжаларды көрсөттү. Муну болжолдоолордун сапатына олуттуу таасирин тийгизе турган узак байкоолордун сериялары менен түшүндүрүүгө болот.

**Түйүндүү сөздөр:** магнит талаасы; аба ырайы; нейрон тармактары; климат; машина үйрөнүү; PyTorch.

## USE OF NEURAL NETWORKS FOR MODELING CLIMATE CHANGE

Zh.S. Zhukova, V.V. Erofeeva, A.A. Timofeev-Karakozov, S.L. Yablochnikov

**Abstract.** The paper presents a model of a fully-connected neural network developed for predicting temperature changes. The network was trained on the data of meteorological stations of Antarctica. On the basis of preliminary studies, it was decided to divide the stations on the basis of mean annual temperatures into “warm” and “cold” stations, since the dynamics of temperature trends and annual fluctuations for different regions of the continent has obvious differences. During preliminary work on training of the neural network, it showed good results for several stations. Therefore, it was decided to apply it to the stations sorted by mean temperatures. Testing of the network showed better results on stations with milder climatic conditions. This can be explained by longer observation series, which can have a significant impact on the quality of forecasts.

**Keywords:** magnetic field; weather conditions; neural networks; climate; machine learning; PyTorch.

**Введение.** Глобальная экспансия человеческого вида, по данным исследователей, началась в период последнего межледникового (голоцене) и достигла теперь своего максимума и расцвета [1], при этом перед цивилизацией встал ряд проблем, связанных с высоким потреблением ресурсов техносферой и численностью человеческой популяции, которые напрямую зависят от доступности природных ресурсов. Изменения климата могут отрицательно сказаться на будущем человечества, поставив его на грань вымирания как в случае потепления, так и в случае начала нового ледникового периода.

Изучение динамики температур играет важную роль в оценке климатических изменений на планете. Антарктида представляет собой континент с рядом особенностей: расположение на Южном полюсе, изоляция от цивилизации, экстремальный температурный режим, стоковый характер ветров [2].

Предварительные исследования температурных трендов по данным метеорологических станций континента показали соответствие их общим тенденциям изменения климата с меньшим диапазоном колебания температур. В том числе было отмечено незначительное потепление, характерное для современного периода. Исходя из особенностей континента, было принято решение для анализа климата разделить станции, расположенные внутри континента и на побережье. Предварительные результаты показали, что тренды на так называемых «тёплых» станциях, средние температуры которых выше  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  отличаются от трендов на «холодных» станциях, где температуры значительно ниже. Отличается и режим потепления для последних десятилетий: внутри континента потепление незначительно, либо практически не наблюдается [3].

Наука о климате активно развивается последние десятилетия, накапливаемый объём данных растёт экспоненциально, изменились подходы к изучению климата – произошёл переход от описания, к прогнозированию. Совершенствуются методы обработки и анализа, в том числе с использованием программ обработки больших данных и искусственного интеллекта [4].

Основной задачей исследования является разработка и анализ прогностической модели с использованием полносвязной нейронной сети для предсказания температурных изменений в данном регионе. Нейронная сеть была апробирована на нескольких станциях Антарктиды и показала хорошие результаты. На данном этапе была поставлена задача сравнить возможности нейронной сети в прогнозировании климата для регионов континента с различными температурными режимами.

**Материалы и методы исследования.** Для анализа климатических изменений на полюсе была использована полносвязная нейронная сеть, представляющая собой эффективный инструмент для моделирования сложных зависимостей в данных. Описание структуры сети включает в себя не только количество слоев и нейронов, но и параметры активации, функции потерь и оптимизатора, что позволяет четко определить ее конфигурацию.

Выбор данных для обучения модели был обоснован анализом доступных данных с метеостанций на полюсе. Эти данные предоставили важную информацию о температурных изменениях. Процесс обучения модели включал в себя не только этапы нормализации и предобработки данных, но и стратегию валидации для обеспечения высокой точности прогнозов.

Обоснование выбора полносвязной нейронной сети в данном контексте обусловлено ее способностью адаптироваться к сложным нелинейным взаимосвязям, что часто встречается в климатических данных. Такой подход предоставляет более гибкий и точный инструмент для моделирования с учетом особенностей изменчивости климата на полюсе.

Эффективное сочетание описания структуры сети, выбора данных и процесса обучения обеспечивает надежную методологическую основу для дальнейшего анализа и интерпретации результатов исследования.

Для анализа был проведен отбор «теплых» и «холодных» станций. Среди «теплых» станций выделены: Ротер, Беллинсгаузен и Вернадский, в то время как в группу «холодных» включены российская метеорологическая станция Восток, расположенная на Южном магнитном полюсе, и американская станция Амундсен-Скотт, расположенная на Южном полюсе. Обучение моделей проведено на данных с 1958 по 2019 год, тестирование – с 2020 по 2024 год.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Представление и анализ данных о климатических изменениях начинается с детального обзора температурных флуктуаций, выделения ключевых периодов изменений и определения сезонных особенностей. Наблюдаемые изменения в температурных рядах предоставляют не только наглядное представление о климатической динамике на полюсе, но и служат основой для последующего анализа.

Была разработана нейронная сеть, которая состоит из двух полносвязных слоев. Применена функция активации ReLU для достижения нелинейности и повышения способности модели к выявлению сложных паттернов в данных. Полносвязная нейронная сеть на PyTorch показана на рисунке 1.

Высокая степень точности модели в сравнении с реальными наблюдениями подчеркивает ее эффективность в улавливании и прогнозировании температурных трендов в данном регионе.

Оценку результатов тестирования проводили на основе метрики Median Absolute Error (Медианный Абсолютный Ошибочный Показатель), результаты представлены на рисунках 2 и 3.

В контексте холодных станций результаты тестирования демонстрируют небольшое ухудшение показателей по сравнению с теплыми станциями, подчеркивая возможное влияние более экстремальных климатических условий на точность прогнозов.

В дополнение к тестированию моделей на исторических данных, было проведено прогнозирование температуры на ближайшие пять лет. Этот аспект нашего исследования позволит оценить способность моделей адаптироваться к будущим климатическим изменениям, предоставляя прогнозы для периода с 2025 по 2029 год. Результаты прогнозирования представлены на рисунках 4 и 5.

**Заключение.** Исследование демонстрирует значительный вклад полносвязных нейронных сетей в прогнозирование температурных изменений, подчеркивая их эффективность в улавливании сложных климатических паттернов. Основные тенденции, выявленные в ходе работы, указывают на возможность адаптации к изменяющимся климатическим условиям с помощью передовых технологий машинного обучения.

Данные, полученные в результате исследования, обогащают понимание климатических процессов в уникальных условиях. Это не только способствует развитию научной мысли в области климатологии, но и предоставляет практическую основу для разработки стратегий адаптации к предстоящим изменениям климата.

```
class SimpleRegressionNN(nn.Module):
    def __init__(self):
        super(SimpleRegressionNN, self).__init__()
        self.fc1 = nn.Linear(1, 4) # 1 вход, 4 нейрона на скрытом слое
        self.fc2 = nn.Linear(4, 1) # 4 входа, 1 выходной нейрон

    def forward(self, x):
        x = torch.relu(self.fc1(x))
        x = self.fc2(x)
        return x

# Параметры модели и оптимизатора
learning_rate = 0.01
model = SimpleRegressionNN()
criterion = nn.MSELoss()
optimizer = torch.optim.SGD(model.parameters(), lr=learning_rate)
```

Рисунок 1 – Полносвязная нейросеть на PyTorch

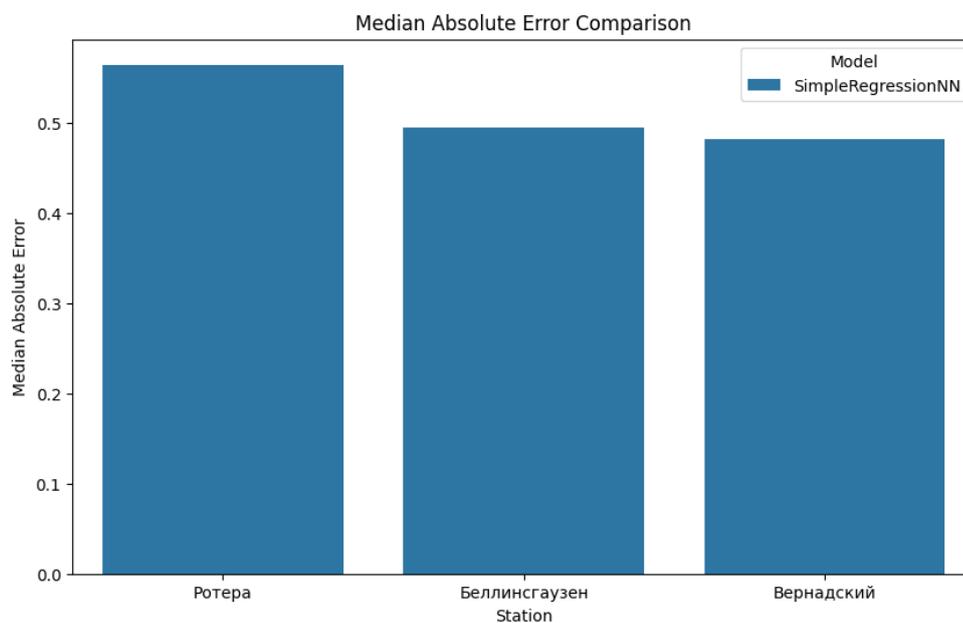


Рисунок 2 – Результаты тестирования на данных «теплых» станций

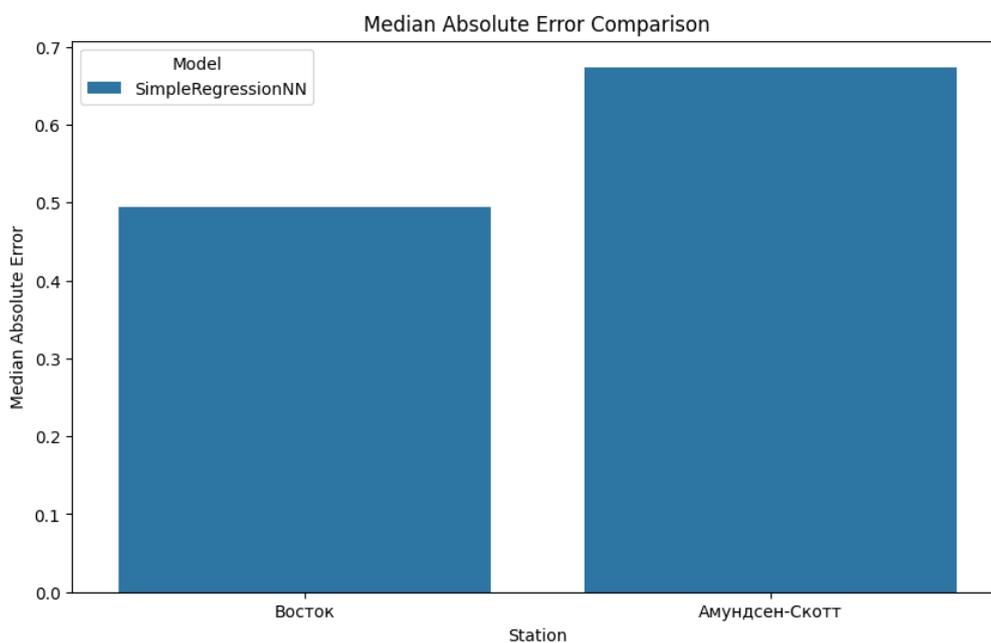


Рисунок 3 – Результаты тестирования на данных «холодных» станций

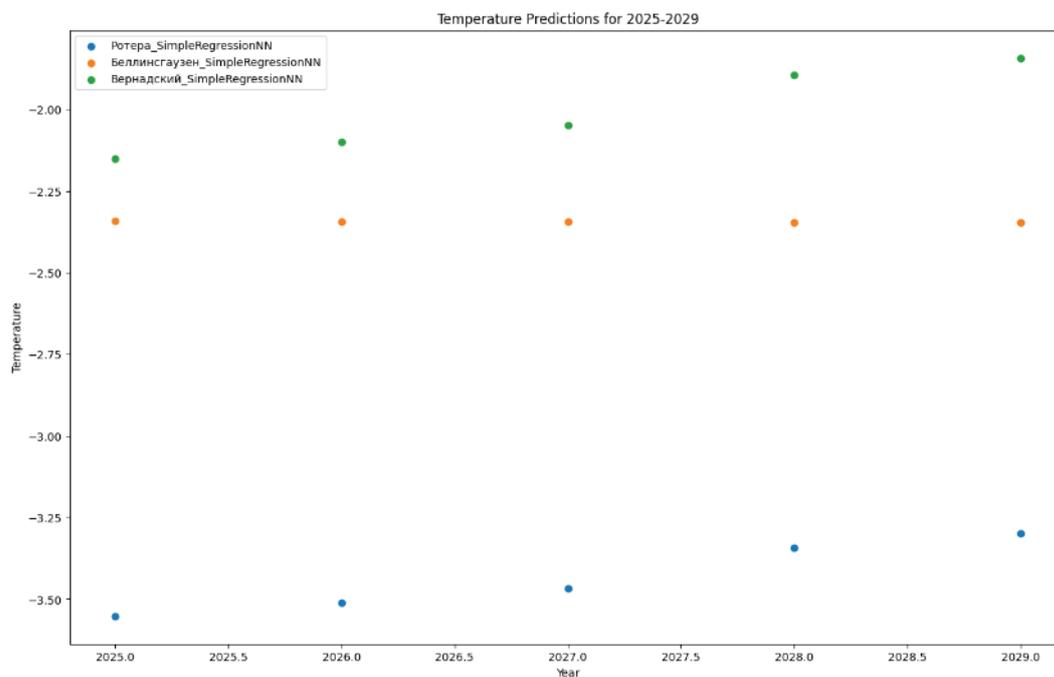


Рисунок 4 – Прогноз температурных изменений на «теплых» станциях на период с 2025 по 2029 г.

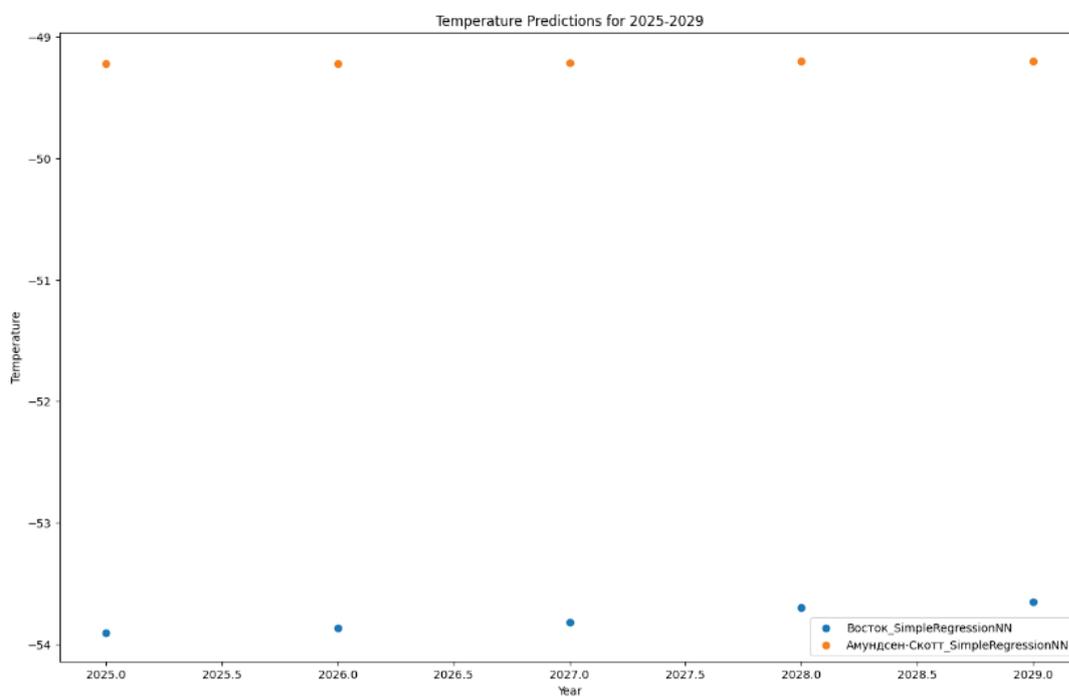


Рисунок. 5 – Прогноз температурных изменений на «холодных» станциях на период с 2025 по 2029 г.

Важно отметить, что данное исследование открывает новые направления, включая детальное изучение влияния магнитного поля на климатические условия и интеграцию других значимых факторов. Расширение географического охвата исследований и усовершенствование моделей и технологий прогнозирования будут способствовать улучшению качества и точности будущих прогнозов.

Таким образом, исследование подчеркивает важность применения новейших технологий (искусственного интеллекта) в климатологии и предоставляет фундамент для дальнейшего изучения взаимодействия между магнитным полем и климатическими процессами, способствуя более глубокому пониманию и управлению климатическими изменениями на Земле.

Поступила: 13.02.24; рецензирована: 27.02.24; принята: 29.02.24.

#### *Литература*

1. *Weninger, B. et al.* Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at Early Neolithic sites in the eastern Mediterranean // *Quaternary Research* 66. 2006. Pp. 401–420.
2. *Котляков В.М.* Что нового мы узнали о снеге и льде в Антарктиде в период Международного геофизического года и в последующие 10–20 лет / В.М. Котляков // *Вопросы географии*. 2020. № 150. С. 75–99. EDN HCWXAM.
3. *Жукова Ж.С.* Исследование вариативности температурных показателей Антарктиды / Ж.С. Жукова, В.В. Ерофеева // *Вопросы науки*. 2023. № 3. С. 53–57. EDN WRUQZV.
4. *Лубков А.С.* Новый подход к использованию нейронных сетей для долгосрочного прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья / А.С. Лубков, Е.Н. Воскресенская, О.В. Марчукова // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2023. Т. 9. № 4. С. 432–466. DOI: 10.21513/2410-8758-2023-4-432-466.