

# **Государственно-частное партнерство при использовании искусственного интеллекта для исследования климатических сценариев в Арктике**

## **Application of artificial intelligence for forecasting climate scenarios in the public-private partnership in the application of artificial intelligence to study climate scenarios in the Arctic**

### **Лебедько М.А.**

Студентка 3 курса, направление Публичная политика и государственные стратегии, Институт общественных наук, ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Москва  
e-mail: margaritalebedko3581@gmail.com

### **Lebedko M.A.**

3rd year student, Majoring in Public Policy and State Strategies, Institute of Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow  
e-mail: margaritalebedko3581@gmail.com

### **Воротников А.М.**

Канд. хим. наук, доцент кафедры государственного управления и публичной политики Института общественных наук, ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», координатор экспертного совета, Экспертный центр «Проектный офис развития Арктики» (ЭЦ ПОРА), г. Москва  
e-mail: vdep14@yandex.ru

### **Vorotnikov A.M.**

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Administration and Public Policy of the Institute of Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Coordinator of the Expert Council, Expert Center Project Office for Arctic Development (EC PORA), Moscow  
e-mail: vdep14@yandex.ru

### **Аннотация**

В условиях ускоряющихся климатических изменений в Арктике возрастает потребность в точных и адаптивных инструментах прогнозирования. Искусственный интеллект (ИИ) предлагает новые возможности для моделирования сложных климатических сценариев, включая анализ ледовой динамики, выбросов парниковых газов и спутниковых данных. В статье рассматриваются перспективы применения ИИ в арктическом климатическом прогнозировании, а также потенциал государственно-частного партнёрства (ГЧП) как механизма объединения ресурсов, данных и технологий. Анализируются существующие международные инициативы, форматы ГЧП и нормативные аспекты, предлагаются рекомендации для России по интеграции в глобальные исследовательские экосистемы.

**Ключевые слова:** Арктика, климатические изменения, искусственный интеллект, прогнозирование, государственно-частное партнёрство, цифровые платформы, экологическая политика, машинное обучение.

## **Abstract**

Amid accelerating climate change in the Arctic, there is a growing demand for precise and adaptive forecasting tools. Artificial intelligence (AI) offers new opportunities for modeling complex climate scenarios, including the analysis of ice dynamics, greenhouse gas emissions, and satellite data. This article explores the potential of AI in Arctic climate forecasting and examines the role of public-private partnerships (PPP) as a mechanism for integrating resources, data, and technologies. It analyzes existing international initiatives, PPP formats, and regulatory frameworks, and provides recommendations for Russia's integration into global research ecosystems.

**Keywords:** Arctic, climate change, artificial intelligence, forecasting, public-private partnership, digital platforms, environmental policy, machine learning.

Арктический регион в последние десятилетия стал эпицентром стремительных климатических изменений, оказывающих влияние не только на локальные экосистемы, но и на глобальные климатические процессы. Темпы потепления в Арктике в два–три раза превышают средние показатели по планете, что приводит к ускоренному таянию морского льда, деградации вечной мерзлоты, изменению циркуляции атмосферы и океана, а также к росту выбросов парниковых газов из ранее замороженных источников [1]. Эти процессы имеют далеко идущие последствия: от повышения уровня мирового океана до трансформации погодных паттернов в умеренных широтах, влияющих на сельское хозяйство, инфраструктуру и здоровье населения.

В условиях нарастающей климатической нестабильности возрастает потребность в точных, адаптивных и масштабируемых инструментах прогнозирования, способных учитывать сложные нелинейные взаимосвязи между природными, техногенными и социальными факторами. Арктика, как регион с ограниченной доступностью данных и высокой степенью неопределённости, требует инновационных подходов к моделированию климатических сценариев.

### **Роль искусственного интеллекта в климатическом моделировании**

Искусственный интеллект (ИИ), включая машинное обучение, нейросетевые архитектуры и гибридные алгоритмы, открывает новые горизонты в области климатического анализа. В отличие от традиционных моделей, основанных на физических уравнениях и параметризации процессов, ИИ способен выявлять скрытые закономерности в больших и разнородных массивах данных — от спутниковых изображений и сенсорных измерений до исторических климатических рядов и социально-экономических индикаторов [2].

Применение ИИ в арктическом контексте позволяет:

- повышать точность краткосрочных и долгосрочных прогнозов;
- обрабатывать неполные, шумные и фрагментарные данные;
- моделировать сценарии с учётом антропогенных факторов и политических решений;
- автоматизировать мониторинг и визуализацию климатических процессов в реальном времени.

Таким образом, ИИ становится не просто инструментом анализа, но и стратегическим ресурсом для принятия решений в области климатической политики и устойчивого развития.

### **Значение государственно-частного партнёрства (ГЧП)**

Решение задач климатического прогнозирования в Арктике требует объединения усилий государства, научного сообщества, бизнеса и гражданского общества. Государственно-частное партнёрство (ГЧП) выступает в этом контексте как эффективный механизм кооперации, позволяющий:

- мобилизовать финансовые и технологические ресурсы;
- обеспечить доступ к данным и инфраструктуре;
- стимулировать инновации и трансфер технологий;
- повысить прозрачность и доверие к моделям и прогнозам.

Особую роль ГЧП играет в создании открытых цифровых платформ, разработке прикладных ИИ-решений, а также в формировании нормативной базы для этичного и устойчивого использования алгоритмов в экологической сфере [3].

### **Цель статьи**

Настоящая статья направлена на комплексный анализ потенциала применения искусственного интеллекта для прогнозирования климатических сценариев в Арктике, с акцентом на возможности и форматы государственно-частного партнёрства. В рамках исследования рассматриваются:

- технологические и методологические аспекты ИИ-моделирования;
- международные и российские практики ГЧП в экологической сфере;
- юридические, этические и институциональные условия реализации совместных инициатив;
- рекомендации по интеграции российских платформ и проектов в глобальные исследовательские экосистемы.

## **1. Особенности климатических изменений в Арктике**

### **Арктика как индикатор глобального потепления**

Арктический регион демонстрирует наибольшую чувствительность к изменениям климата. Согласно данным IPCC и NASA, средняя температура в Арктике за последние 50 лет выросла более чем на 2,3 °С, что вдвое превышает глобальные темпы потепления. Это явление известно как «арктическое усиление» (Arctic Amplification) и связано с уменьшением альбедо поверхности, усилением атмосферной циркуляции и изменением теплового баланса.

### **Ключевые климатические процессы**

- Таяние морского льда: по данным CryoSat-2, летний минимум площади льда в 2023 г. составил менее 4 млн км<sup>2</sup>, что на 40 % ниже среднего значения 1980-х годов [4].
- Деграляция вечной мерзлоты: в районах Сибири и Аляски фиксируются провалы грунта, выбросы метана и разрушение инфраструктуры. По оценкам, до 70% инфраструктуры в зоне вечной мерзлоты находится под угрозой [2].
- Изменение биологических циклов: смещение сроков миграции животных, исчезновение арктических видов, появление субарктических организмов в северных широтах.
- Рост экстремальных явлений: увеличение числа штормов, волн тепла, аномальных осадков.

### **Глобальные последствия**

- Изменение струйных течений: ослабление и деформация струйных потоков (jet stream) приводит к «залипанию» погодных систем - например, продолжительным засухам или ливням в Европе и Азии.
- Повышение уровня океана: таяние гренландского ледового щита вносит вклад в глобальный подъём уровня моря - до 0,7 мм в год.
- Угрозы продовольственной безопасности: изменение сроков вегетации, засухи и наводнения в регионах, зависящих от стабильного климата [5].

## **Ограничения традиционного моделирования**

Климатические модели, такие как CMIP6, основаны на физических уравнениях и параметризации процессов. Однако в арктическом контексте они сталкиваются с рядом проблем:

- Недостаток данных: особенно в зимний период, когда спутниковые наблюдения ограничены, а наземные станции малочисленны.
- Высокая неопределённость: сценарии выбросов, политические решения, поведение биосферы — всё это сложно предсказать.
- Нелинейность процессов: взаимодействие между льдом, океаном, атмосферой и биотой требует комплексного подхода.
- Сложность масштабирования: локальные процессы (например, термокарст) трудно интегрировать в глобальные модели [6].

## **2. Искусственный интеллект в климатическом прогнозировании**

### **Технологии ИИ, применимые к Арктике**

ИИ предлагает альтернативу традиционным подходам, позволяя:

- обнаруживать скрытые паттерны в больших массивах данных;
- обрабатывать неполные и шумные данные, характерные для Арктики;
- адаптироваться к новым условиям и обучаться на поступающих данных.

Применяемые технологии:

- сверточные нейронные сети (CNN) - для анализа спутниковых изображений льда и облачности;
- рекуррентные нейронные сети (RNN, LSTM) - для прогнозирования временных рядов температуры, осадков, ветра;
- генеративные модели (GAN, Diffusion) - для симуляции сценариев при недостатке наблюдений;
- гибридные модели - объединяющие физические уравнения и ИИ для повышения интерпретируемости [7].

### **Источники данных**

ИИ-модели обучаются на:

- спутниковых данных: Sentinel-1/2, MODIS, CryoSat-2, ICESat-2;
- наземных станциях: NOAA, Росгидромет, ArcticNet;
- гражданских наблюдениях: проекты типа SmartICE, Arctic Observing Network;
- исторических архивах: климатические ряды, дневники экспедиций, этнографические материалы [8].

### **Преимущества ИИ**

- гибкость: возможность адаптации к новым данным и условиям;
- скорость: обработка больших объёмов информации в реальном времени;
- интеграция: объединение климатических, социальных и экономических факторов;
- прогностическая сила: способность моделировать сценарии с учётом множества переменных.

### **Конкретные примеры**

- IceNet (British Antarctic Survey): глубокая нейросеть, предсказывающая распределение морского льда на 6 месяцев вперёд с точностью выше 95%.
- ClimateGAN (MIT): генеративная модель, создающая реалистичные сценарии таяния ледников на основе неполных данных.

- AI4Arctic (ESA): платформа для автоматической классификации ледовых форм и оценки рисков для судоходства.
- Yandex DataSphere + Росгидромет: экспериментальные модели прогнозирования температуры и осадков в Сибири с использованием LSTM [2].

### **Потенциал государственно-частного партнёрства (ГЧП)**

В условиях растущей сложности климатических вызовов в Арктике, эффективное прогнозирование и реагирование требуют объединения усилий различных секторов. Государственно-частное партнёрство (ГЧП) становится ключевым механизмом, позволяющим интегрировать ресурсы, компетенции и технологии для решения задач устойчивого развития региона. В отличие от традиционных моделей взаимодействия, ГЧП предполагает не только распределение финансовых и организационных рисков, но и совместное определение целей, форматов и стандартов работы.

Государственные структуры, такие как Росгидромет, Минприроды России, Арктический совет, обладают уникальными возможностями по сбору и хранению климатических данных, нормативному регулированию экологических процессов, а также по обеспечению долгосрочного финансирования фундаментальных исследований. Они формируют институциональную основу для мониторинга и оценки климатических рисков, а также задают рамки для этичного использования технологий.

Частный сектор, в свою очередь, предлагает гибкость, инновационность и технологическую экспертизу. Компании, работающие в сфере искусственного интеллекта, облачных вычислений, спутниковой аналитики и логистики, способны разрабатывать прикладные решения, адаптированные к арктическим условиям. Например, платформа Яндекс DataSphere используется для обработки климатических временных рядов, а SberAI разрабатывает модели прогнозирования на основе LSTM-архитектур.

Форматы ГЧП в арктическом климатическом контексте могут включать:

- совместные исследовательские консорциумы (например, ArcticNet в Канаде);
- цифровые платформы с открытым доступом к данным (Copernicus Climate Data Store);
- контракты на разработку ИИ-моделей для государственных нужд;
- публичные хакатоны и акселераторы, стимулирующие разработку экологических решений (ClimateHack, AI4Earth) [9].

Особое значение имеют проекты, ориентированные на вовлечение коренных народов и локальных сообществ. Примером служит канадская инициатива SmartICE, где ИИ используется для мониторинга ледовой обстановки с учётом традиционных знаний инуитов. В России аналогичные подходы могут быть реализованы через платформу «Северный мониторинг», объединяющую спутниковые данные, наземные наблюдения и гражданскую науку.

Таким образом, ГЧП в Арктике — это не просто финансовый инструмент, а стратегическая модель кооперации, способная обеспечить устойчивость, прозрачность и технологическую эффективность климатических решений.

### **Модели взаимодействия и механизмы реализации**

Для успешной реализации ИИ-инициатив в арктическом климатическом прогнозировании необходимо чёткое понимание моделей взаимодействия между государством, бизнесом, научным сообществом и гражданскими структурами. Типология ГЧП в данной сфере может быть представлена четырьмя основными форматами:

1. Инфраструктурные модели - предполагают совместное строительство и эксплуатацию объектов мониторинга: сенсорных сетей, дата-центров, спутниковых систем. Например, в рамках проекта Polar View (ЕС) частные компании предоставляют спутниковые снимки, а государственные агентства обеспечивают их интерпретацию и хранение.

2. Инновационные модели - ориентированы на разработку новых ИИ-продуктов, алгоритмов и платформ. Здесь ключевую роль играют стартапы, научные лаборатории и технологические корпорации. Примером может служить ClimateGAN от MIT, создающий сценарии таяния ледников на основе генеративных моделей.

3. Исследовательские альянсы - включают совместные публикации, обмен данными, создание открытых библиотек моделей. Такие альянсы формируются вокруг крупных научных проектов, например, AI4Arctic (ESA), где объединяются усилия университетов, агентств и компаний.

4. Образовательные инициативы - направлены на подготовку кадров, проведение курсов, стажировок, создание совместных лабораторий. В России подобные форматы реализуются через платформу «Наука и технологии Арктики» при участии МФТИ и САФУ [10].

Юридические и этические аспекты ГЧП в сфере ИИ требуют особого внимания. Вопросы доступа к данным, прозрачности алгоритмов, защиты интересов коренных народов и соблюдения международных норм (например, ESG-стандартов) становятся критически важными. Необходима разработка нормативной базы, регулирующей использование ИИ в экологических целях, включая требования к интерпретируемости моделей, защите персональных данных и учёту культурных контекстов.

Среди рисков реализации ГЧП можно выделить:

- технологическую зависимость от зарубежных платформ и решений;
- низкую интерпретируемость глубоких нейросетей;
- нестабильность финансирования и краткосрочность проектов;
- политические барьеры, ограничивающие трансграничный обмен данными.

Для преодоления этих ограничений необходима институциональная поддержка, долгосрочное планирование и развитие открытых стандартов взаимодействия.

### **Рекомендации для России и международного сотрудничества**

Россия, обладая значительной частью арктической территории и уникальными научными школами, имеет потенциал для активного участия в международных инициативах по климатическому прогнозированию. Однако для реализации этого потенциала необходимо преодоление ряда барьеров - от технологических до нормативных.

В числе первоочередных шагов можно выделить:

- Интеграцию российских платформ (например, «Северный мониторинг», Arctic SDI) в международные экосистемы через открытые API, совместные протоколы и публикации;
- Разработку отечественных ИИ-моделей, адаптированных к арктическим условиям, с использованием ресурсов Яндекс, Сбер, МФТИ, ИППИ РАН;
- создание национального дата-хаба ArcticData.ru, объединяющего данные Росгидромета, научных институтов и гражданских наблюдателей;
- участие в международных проектах, таких как Arctic Observing Summit, GEO Cold Regions Initiative, IPCC Working Groups.

Международное сотрудничество должно строиться на принципах открытости, взаимного доверия и научной солидарности. Трансграничный обмен данными, совместная разработка моделей, унификация стандартов мониторинга и этических норм — всё это способствует формированию глобальной исследовательской среды, способной эффективно реагировать на климатические вызовы.

Рекомендуется:

- разработать национальную стратегию по ИИ в климатическом прогнозировании;
- создать межведомственную рабочую группу по ГЧП в Арктике;
- поддерживать публикации в международных журналах и участие в конференциях;
- формировать нормативную базу, обеспечивающую этическое и устойчивое использование ИИ в экологической сфере.

Таким образом, Россия может не только интегрироваться в глобальные климатические инициативы, но и предложить уникальные решения, основанные на междисциплинарном подходе, научной традиции и арктической специфике.

Климатические изменения в Арктике представляют собой не только региональную экологическую проблему, но и глобальный вызов, затрагивающий устойчивость природных и социально-экономических систем по всему миру. Ускоренное потепление, деградация вечной мерзлоты, изменение ледовой динамики и рост экстремальных погодных явлений требуют от научного сообщества, государства и бизнеса поиска новых, более точных и адаптивных инструментов прогнозирования. В этом контексте искусственный интеллект (ИИ) выступает как перспективная технологическая парадигма, способная трансформировать подходы к климатическому моделированию, мониторингу и принятию решений.

ИИ-модели, основанные на машинном обучении, нейросетевых архитектурах и гибридных алгоритмах, демонстрируют высокую эффективность в обработке больших и разнородных массивов данных, включая спутниковые изображения, метеорологические наблюдения, исторические климатические ряды и социальные индикаторы. Их применение в арктическом контексте позволяет не только повысить точность прогнозов, но и учитывать сложные нелинейные взаимосвязи между природными и антропогенными факторами. Примеры таких решений - IceNet, ClimateGAN, AI4Arctic - показывают, что ИИ способен стать ключевым элементом в системе климатической безопасности.

Однако технологический потенциал ИИ не может быть реализован в отрыве от институциональных и организационных механизмов. Государственно-частное партнёрство (ГЧП) представляет собой эффективную модель кооперации, объединяющую ресурсы, компетенции и интересы различных акторов. ГЧП позволяет мобилизовать инвестиции, обеспечить доступ к данным, стимулировать инновации и формировать нормативную среду, необходимую для этичного и устойчивого использования ИИ в экологической сфере. Форматы взаимодействия - от исследовательских консорциумов и цифровых платформ до образовательных инициатив и контрактов на разработку - создают условия для масштабирования решений и повышения их общественной значимости.

Для России, обладающей значительной частью арктической территории и развитой научной инфраструктурой, открываются возможности для активного участия в международных климатических инициативах. Интеграция отечественных платформ в глобальные экосистемы, разработка национальной стратегии по ИИ в климатическом прогнозировании, создание открытых дата-хабов и участие в трансграничных проектах — всё это может способствовать укреплению научной дипломатии, технологической независимости и экологической устойчивости.

Таким образом, применение искусственного интеллекта в прогнозировании климатических сценариев в Арктике - это не просто технологическая инновация, а стратегический выбор, определяющий будущее региона и планеты в целом. Успешная реализация таких решений требует междисциплинарного подхода, институциональной поддержки и широкого общественного участия. ГЧП в этом процессе становится не инструментом, а архитектурой взаимодействия, способной объединить усилия ради общего экологического блага.

## Литература

1. Криницкий М.А. Роль искусственного интеллекта в понимании климата: ускорение исследований и прогнозов // Наука Mail.ru. - 2025. - URL: <https://science.mail.ru/articles/5968-klimaticheskoe-prognozirovanie/>
2. Лаборатории Бориса Крюка. Самое масштабное исследование Арктики с помощью ИИ // LetAIbe.media. - 2025. - URL: <https://letaibe.media/news/rossijskie-uchenye-proveli-samoe-masshtabnoe-issledovanie-arktiki-s-pomoshhyu-ii/>
3. Першин К. Как ИИ предсказывает климат в 2025 году: пять прорывных технологий для экологов // Kapiton.ru. - 2025. - URL: <https://kapiton.ru/articles-kak-ii-predskazyvaet-klimat-v-2025-5-proryvnyh-tehnologij-dlya-ekologov/>
4. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC). Шестой оценочный доклад: Полярные регионы. - Женева: IPCC, 2023. - 178 с.
5. Арктический отчёт NOAA за 2024 год. - Национальное управление океанических и атмосферных исследований США. - 2024. - URL: <https://arctic.noaa.gov/report-card>
6. Эйринг В., Бок Л., Риги М. и др. Обзор CMIP6 и его климатических прогнозов // Earth System Science Data. - 2023. - Т. 15, № 2. - С. 1235-1256. - DOI: 10.5194/essd-15-1235-2023.
7. Тивари А., Кумар Р., Сингх А. Сравнительное исследование моделей глубокого обучения для прогнозирования климата Арктики // Journal of Climate Informatics. - 2024. - Т. 9, № 1. - С. 45-62. - DOI: 10.1016/j.jcliinf.2024.01.004.
8. Обзор проекта AI4Arctic Европейского космического агентства. - ESA. - 2023. - URL: <https://ai4arctic.esa.int>
9. Ежегодный отчёт SmartICE за 2023 год. - Университет Мемориал, Канада. - 2023. - URL: <https://smartice.org/publications>
10. Стратегический план ArcticNet на 2025-2030 гг. - Университет Лавалья, Канада. - 2025. - URL: <https://www.arcticnet.ulaval.ca/strategic-plan-2025>