ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗАДАЧАХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДНЫХ АНОМАЛИЙ И КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И БЕЛАРУСИ

С.А. Солдатенко

*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail:soldatenko@aari.ru*

Критически проанализированы исследования и разработки, касающиеся применения методов и технологий искусственного интеллекта в задачах прогноза погоды и климата. Рассмотрены облик и структура перспективной системы долгосрочного прогнозирования погодных аномалий на территории Европейской части России и Беларуси, построенной на основе нейросетевых технологий. Рассмотрено влияние аномалий температуры поверхности океана в тропической и субтропической зонах Атлантики на флуктуации погодных условий в рассматриваемом географическом регионе. Разработаны алгоритмы тестирования различных архитектур нейронных сетей – рекуррентных нейронных сетей, сверточных нейронных сетей, в том числе с длинной цепью элементов краткосрочной памяти, и генеративно-состязательных сетей – с целью оценки их пригодности для решения задач долгосрочного прогноза погоды и климата. Сформирована база многолетних данных, предназначенных для построения прогностической системы.

Ключевые слова: искусственный интеллект; долгосрочный прогноз погоды; прогноз климатических аномалий; нейронные сети.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR LONG-TERM PREDICTION OF WEATHER ANOMALIES AND CLIMATE IN THE TERRITORY OF EUROPEAN PART OF RUSSIA AND BELARUS

S. A. Soldatenko

*Arctic and Antarctic Research Institute,
St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: soldatenko@aari.ru*

The research and developments concerning the application of methods and technologies of artificial intelligence in weather and climate forecasting are critically analyzed. The composition and structure of a promising system of long-term forecasting of weather anomalies in the territory of the European part of Russia and Belarus, built on the basis of neural network technologies, are considered. The influence of ocean surface temperature anomalies in the tropical and subtropical zones of the Atlantic on weather fluctuations in the geographical region under consideration were discussed. Algorithms have been developed for testing various architectures of neural networks - recurrent neural networks, convolutional neural networks, including those with a long short-term memory, and generative adversarial

networks - in order to assess their suitability for solving problems of long-range weather forecasting and climate prediction. A database of long-term data intended for building a prognostic system has been developed.

Keywords: artificial intelligence; long-range weather forecast; climate prediction; neural networks.

Фразеологизм «искусственный интеллект» – одно из популярных, обсуждаемых и, вместе с тем, многозначных и противоречивых понятий, используемых все чаще в нашей повседневной жизни. Этот термин до сих пор остается дискуссионной категорией несмотря на то, что находится в употреблении почти 70 лет. Противоречивость в трактовке существа искусственного интеллекта (ИИ) обусловлена тем, что ИИ является межпредметным научным направлением, соединяющим воедино математику, компьютерные науки, кибернетику, психологию, физиологию, нейробиологию, философию сознания и др., для которых характерно использование схожих терминов, но имеющих различное смысловое содержание, зависящее от сферы применения. Представляется, что словосочетание «искусственный интеллект» есть не более чем метафора, фигура речи, обозначающее научное направление в информатике, изучающее способы получения знаний, их компьютерного представления, преобразования и использования [2]. Области применения ИИ достаточно обширны: промышленная сфера, образование, медицина, сельское хозяйство, транспорт, оборона, бизнес, финансы и коммерция, логистика, торговля. Везде, где возникает необходимость сбора, обработки и систематизации больших объемов данных с целью повышения эффективности планирования и прогнозирования, находится место ИИ [4]. Существуют две основные причины стремительного роста интереса к ИИ. Первая из них – производство лавинообразно нарастающего объема информации, а вторая – наличие высокопроизводительной вычислительной техники, способной в достаточно короткие сроки обрабатывать огромные объемы информации. ИИ проникает во многие сферы человеческой деятельности, в том числе гидрометеорологическую деятельность, задача которой производство, сбор, обработка, анализ, хранение и использование фактической и прогностической информации о состоянии окружающей природной среды и ее загрязнении в интересах государства, отдельных регионов, физических и юридических лиц. К объектам гидрометеорологической деятельности относятся климатическая система Земли, климатические, метеорологические и гидрологические условия, процессы и явления, а также изменения, происходящие в окружающей природной среде в результате воздействия на нее естественных и антропогенных факторов.

В экспертной среде существует устойчивое мнение и определенная уверенность в том, что ИИ может сыграть значительную роль в совершенствовании методов прогнозирования состояния окружающей природной

среды и повышении достоверности прогнозов погоды, гидрологического режима, глобальных и региональных изменений климата [5]. Это мнение основывается на достижениях ИИ и, в частности, глубокого обучения (ГО), в области компьютерного зрения и обработки естественного языка, что обусловило появление многочисленных разработок и публикаций, касающихся применения технологий ИИ в науках о Земле, в том числе в метеорологии, климатологии и гидрологии [6]. На данный момент в ряде стран с применением технологий ИИ полным ходом идет разработка цифровых двойников системы Земля, под которыми понимается ее цифровые модели, построенные на основе исторических и актуальных данных, позволяющих воспроизводить поведение системы в настоящем и будущем. Определенные перспективы ИИ имеет в приложении к прогнозированию погоды и климата на различных временных горизонтах. Если рассматривать прогнозирование на временных интервалах от сезонов до нескольких лет, то методы ИИ, такие как нейросетевое ГО представляются наиболее эффективным инструментом.

В основе долгосрочного прогнозирования погоды и климата лежит так называемая предиктивная аналитика, использующая накопленную ретроспективную и текущую информацию о системе (в данном случае о климатической системе) с тем, чтобы с помощью статистических инструментов и технологий ИИ выявить существующие в имеющихся данных закономерности и связи, построить и обучить на этой основе математическую модель и в дальнейшем использовать ее для прогнозирования будущих событий. Предиктивный анализ данных находит свое применение в разработке моделей, используемых в задачах прогноза погоды различной заблаговременности и составления климатических проекций [7]. Для построения моделей берутся на вооружение, главным образом, инструменты машинного обучения (МО). Разработанные на основе ИИ модели принципиально отличаются от моделей, традиционно применяемых в численном моделировании и прогнозировании погоды и климата, поскольку они строятся не на строгом физическом фундаменте, а благодаря способности к самообучению сами определяют лежащую в основе моделируемых процессов систематику. В наиболее общем виде любой алгоритм МО может быть представлен как «обучение» некоторой (неизвестной) функции f , которая наилучшим образом отображает входные переменные X в выходные переменные Y : $Y = f(X) + \epsilon$, где ϵ – неустранимая ошибка. Для построения алгоритмов МО, посредством которых данные анализируются с целью поиска в них закономерностей и связей (т.е. для получения знаний), применяются различные методы (методы математической статистики, методы оптимизации, теории графов и др.), включая искусственные нейронные сети (ИНС). В последнем случае мы имеем дело с так называемым ГО, как подмножеством

множества методов МО. Как показывает опыт, ИНС, имеющие большое количество скрытых слоев, обладают способностью в процессе обучения обнаруживать сложные зависимости между входными и выходными данными и, таким образом, в случае успешного обучения могут служить эффективным инструментом прогнозирования будущих событий, используя данные, которые отсутствовали в обучающей выборке.

В отличие от краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды, где основным инструментом являются региональные и глобальные гидродинамические модели атмосферы, в долгосрочном прогнозировании преобладают физико-статистические методы. При этом акцент делается на прогнозировании не самих метеорологических величин, а их аномалий (отклонений от многолетних норм). Согласно классификации сроков метеорологических прогнозов, предложенной Всемирной метеорологической организацией, под долгосрочным прогнозом погоды понимается прогноз на период от 30 суток до 2-х лет, но при этом могут выделяться месячные, сезонные, межсезонные прогнозы, а прогнозы заблаговременностью свыше 2-х лет относятся к категории климатических прогнозов. Нами выполнен анализ исследований и разработок, связанных с применением ИИ в задачах долгосрочного прогноза погоды и климата, а также сформулированы облик и структура прогностической системы на базе ИИ, предназначенная для долгосрочного прогноза погодных аномалий на Европейской территории России и Беларуси. Результаты физико-статистического анализа и численного моделирования, выполненные ранее в том числе с использованием сопряженных уравнений, показывают существенную зависимость погодных флуктуаций в рассматриваемом географическом регионе от аномалий температуры поверхности океана (ТПО) в тропической и субтропической зонах Атлантики [1, 3]. Поэтому ТПО была выбрана в качестве одного из основных предикторов при построении прогностической модели. На данный момент нами реализуется тестирование различных архитектур нейронных сетей таких, как рекуррентные нейронные сети, сверточные нейронные сети, в том числе с длинной цепью элементов краткосрочной памяти, и генеративно-состязательные сети с тем, чтобы определить их пригодность для долгосрочного прогноза погоды и климата.

Данная работа выполняется в рамках российско-белорусского проекта «Разработка методов климатического и сверхдолгосрочного прогнозирования погоды для территории Беларуси и России с использованием технологий искусственного интеллекта» (проект РФФ 23–47–10003).

Библиографические ссылки

1. Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Уразгильдеева А.В., Бобылев Л.П. Влияние переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период. Фундаментальная и прикладная климатология, 2016, № 2, с. 43-63.

2. Городецкий В. И., Юсупов Р. М. Искусственный интеллект: метафора, наука и информационная технология. Мехатроника, автоматизация, управление, 2020, т. 21, № 5, с. 282-294.
3. Семенов В.А., Мохов И.И., Полонский А.Б. Моделирование влияния естественной долгопериодной изменчивости в Северной Атлантике на формирование аномалий климата. Морской гидрофизический институт, 2014, № 4, с. 14-27.
4. Соколов И. А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта. Вестник Российской академии наук, 2019, т. 89, с. 365-370.
5. Boukabara S.-A., Krasnopolsky V., Penny S.G., et al. Outlook for exploiting artificial intelligence in the earth and environmental sciences. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 2021, vol. 102, E1016-E1032.
6. Dewitte S., Cornelis J. P., Müller R., and Munteanu A. Artificial Intelligence Revolutionises Weather Forecast, Climate Monitoring and Decadal Prediction. Remote Sens., 2021, vol. 13, 3209.
7. Kelleher J. D., Namee B. M. and D'Arcy A. Fundamentals of machine learning for predictive data analytics: Algorithms, worked examples, and case studies. Cambridge, MA, MIT Press; 2nd ed., 2020. 856 p.