

## **АПСЕ: БЕНЧМАРК ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОРСКОГО ЛЬДА В АРКТИКЕ С АПРОБАЦИЕЙ НА МОДЕЛЯХ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Кузнецов А.Д.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. техн. наук Борисова Ю.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

[adkuznetcov@itmo.ru](mailto:adkuznetcov@itmo.ru)

### **Введение**

В последние годы методы глубокого обучения активно применяются для spatio-temporal прогнозирования ледовой обстановки, демонстрируя высокий потенциал как в краткосрочных, так и в сезонных сценариях [2, 3]. Однако, в отличие от домена атмосферных прогнозов, где уже сформированы устоявшиеся стандарты подготовки данных и сравнения моделей (например, WeatherBench 2 [1]), область прогнозирования морского льда остается фрагментированной: исследования используют различные источники данных, неоднородные проекции, временные дискретизации и наборы метрик, а также зачастую ориентируются на локальные регионы или смежные задачи, такие как классификация типов льда [4]. Отсутствие унифицированного бенчмарка для spatio-temporal прогнозирования существенно затрудняет воспроизводимость экспериментов и объективное сопоставление моделей. Разработка стандартизированного инструментария оценки и сравнения моделей, является актуальной научно-практической проблемой, решение которой позволит сформировать общую экспериментальную основу для дальнейшего развития и апробации методов глубокого обучения в области прогнозирования концентрации морского льда.

### **Основная часть**

В качестве базового источника данных используется продукт на основе спутниковой съемки OSI-SAF. Данные были приведены к унифицированному ML-friendly формату в виде предобработанных спроецированных NumPy-матриц и выложены в открытый доступ на агрегатор HuggingFace. Такой подход устраняет неоднородность, характерную для большинства существующих работ, где данные подготавливаются под конкретную модель или регион [2, 3, 6], и обеспечивает корректное пространственное сопоставление прогнозов. Бенчмарк поддерживает охват всей Арктики с возможностью конфигурации регионов интереса, различных временных дискретизаций и горизонтов прогнозирования.

Архитектура АПСЕ построена по модульному принципу и включает компоненты загрузки и подготовки данных, универсальный интерфейс интеграции пользовательских моделей и модуль автоматической оценки качества прогнозов. Модуль загрузки реализует выбор диапазона дат, регионов и лагов, поддерживает локальное кэширование и потоковую загрузку данных, что исключает избыточные вычисления и снижает объем передаваемой информации. Подготовка данных выполняется в воспроизводимом сценарии с фиксацией версий предобработки, параметров нормализации и масок суши. Универсальный интерфейс запуска моделей позволяет интегрировать как простые функции, так и сложные архитектуры глубокого обучения без привязки к конкретному фреймворку, обеспечивая гибкость и расширяемость системы по мере появления новых подходов.

Для количественной и структурной оценки качества прогнозов в АПСЕ реализован

модуль автоматической валидации, рассчитывающий стандартный набор метрик, включая MAE, MSE, RMSE, SSIM, PSNR и бинарную точность определения ледовой кромки. Такой набор метрик позволяет анализировать как числовую погрешность прогнозируемой концентрации льда, так и пространственную согласованность получаемых карт. В систему интегрированы базовые и современные эталонные решения, включая физически обоснованные и data-driven модели, ранее применявшиеся в задачах прогнозирования морского льда [3, 7].

### Выводы

В результате разработан и апробирован бенчмарк АИСЕ, обеспечивающий воспроизводимую и стандартизированную постановку задач spatio-temporal прогнозирования концентрации морского льда в Арктике. В отличие от существующих решений, ориентированных на атмосферные параметры или на задачи классификации, предложенный подход фокусируется на прогнозировании ледовой обстановки с учетом пространственно-временной структуры данных и различных горизонтов прогноза. Использование унифицированных спутниковых данных OSI-SAF и согласованного набора метрик позволяет обеспечить сопоставимость результатов и снизить влияние различий в предобработке данных, характерных для предыдущих исследований [1, 2, 4]. Разработанный бенчмарк формирует основу для систематической апробации методов глубокого обучения в задачах прогнозирования морского льда и может быть расширен за счет подключения новых источников данных и моделей.

### Литература

1. Rasp S., Hoyer S., Merose A., Langmore I., Battaglia P., Russel T., Sanchez-Gonzalez A., Yang V., Carver R., Agrawal S., Chantry M., Ben Bouallegue Z., Dueben P., Bromberg C., Sisk J., Barrington L., Bell A., Sha F. WeatherBench 2: a benchmark for the next generation of data-driven global weather models // arXiv. – 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2308.15560>
2. Li Y., Qiu Y., Jia G., Yu S., Zhang Y., Huang L., Leppäranta M. An explainable deep learning model for daily sea ice concentration forecast // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2024
3. Andersson T. R., Hosking J. S., Pérez-Ortiz M., Paige B., Elliott A., Russell C., Law S., Jones D. C., Wilkinson J., Phillips T. et al. Seasonal Arctic sea ice forecasting with probabilistic deep learning // Nature Communications. – 2021. – Vol. 12, No. 1. – Art. 5124.
4. Alkaee Taleghan S., Barrett A. P., Meier W. N., Banaei-Kashani F. IceBench: A benchmark for deep-learning-based sea-ice type classification // Remote Sensing. – 2025. – Vol. 17, No. 9. – Art. 1646
5. Ren Y., Li X., Wang Y. SICNet Season v1.0: a transformer-based deep learning model for seasonal Arctic sea ice prediction by incorporating sea ice thickness data // Geoscientific Model Development. – 2025. – Vol. 18, No. 9. – P. 2665–2678
6. Lavergne T., Sørensen A. M., Kern S., Tonboe R., Notz D., Aaboe S., Bell L., Dybkjær G., Eastwood S., Gabarro C. et al. Version 2 of the EUMETSAT OSI SAF and ESA CCI sea-ice concentration climate data records // The Cryosphere. – 2019. – Vol. 13, No. 1. – P. 49–78.
7. Borisova J., Nikitin N. O. Surrogate modelling for sea ice concentration using lightweight neural ensemble // arXiv. – 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2312.04330>

Кузнецов А.Д. \_\_\_\_\_

Борисова Ю.И. \_\_\_\_\_