



Анализ движения плюма Оби–Енисея в Карском море с использованием искусственных нейронных сетей

Александр Савин
Михаил Криницкий
Александр Осадчиев

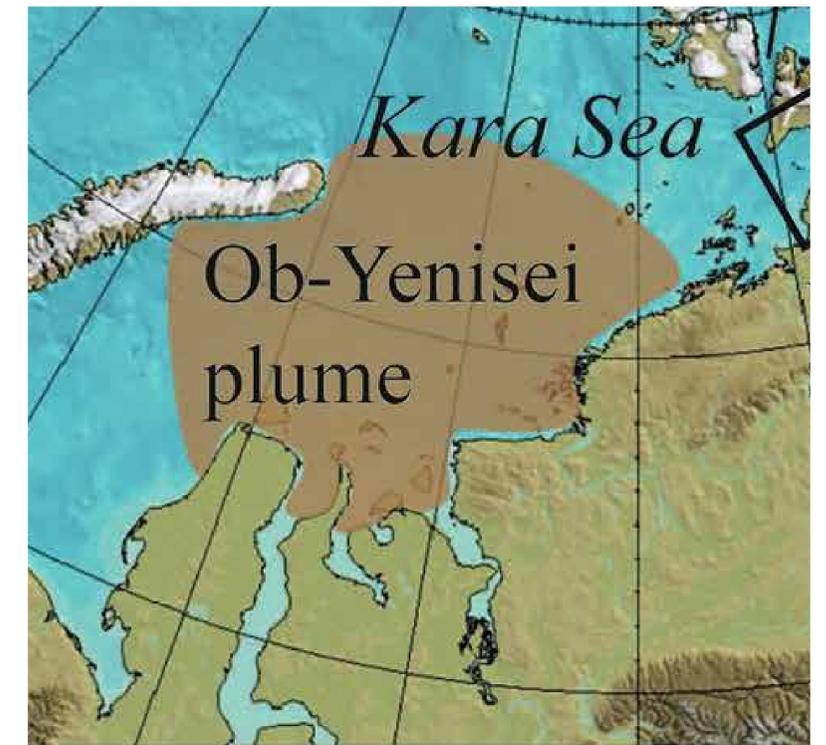


2024

Карское море

В Карское море впадает ~ 1/3 всего пресноводного стока в Северный Ледовитый океан, в основном из рек Оби и Енисея

Плюм Оби–Енисея покрывает суммарно от 10% до 40% площади поверхности Карского моря



[Osadchiev, 2023]

Пресноводный сток определяет циркуляцию крупных водных масс, их стратификацию, перенос растворенных в них веществ, их продуктивность, соленость получаемого при замерзании льда, и другие физико-химические и биологические свойства.

Динамика плюма

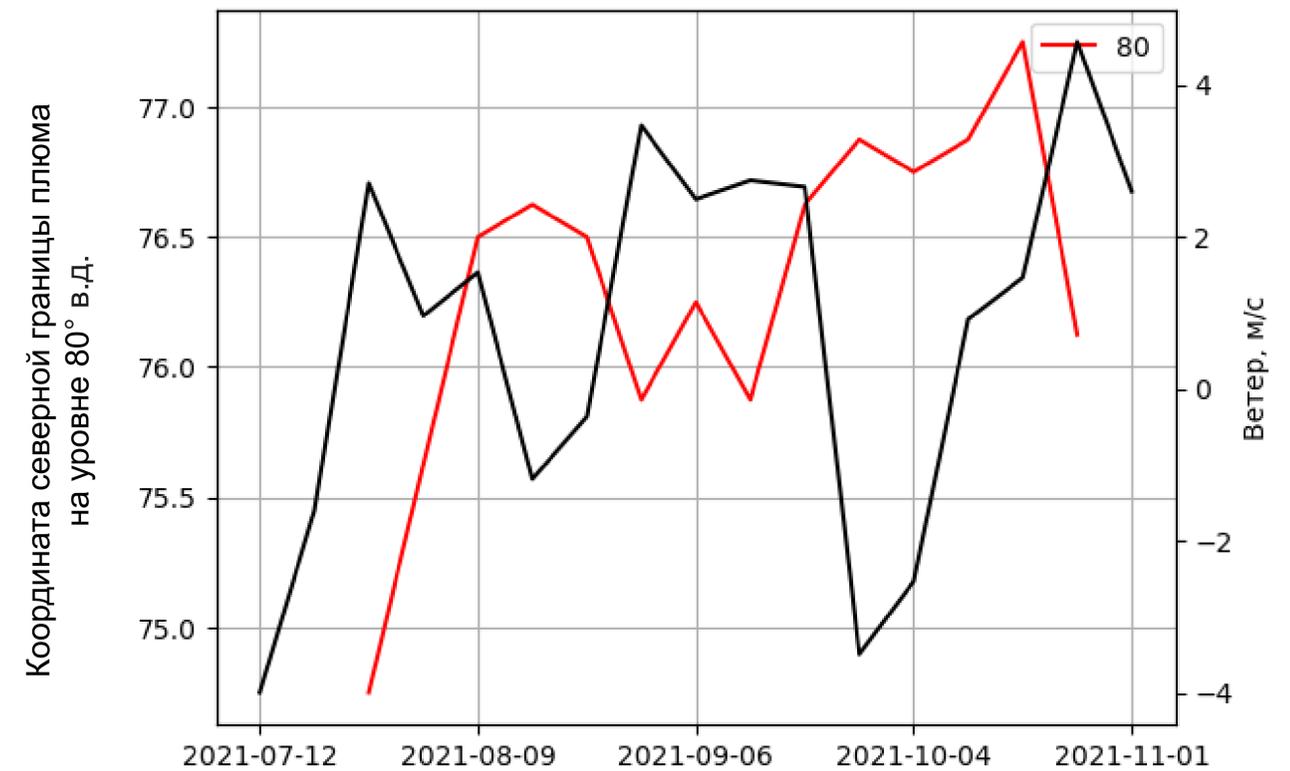
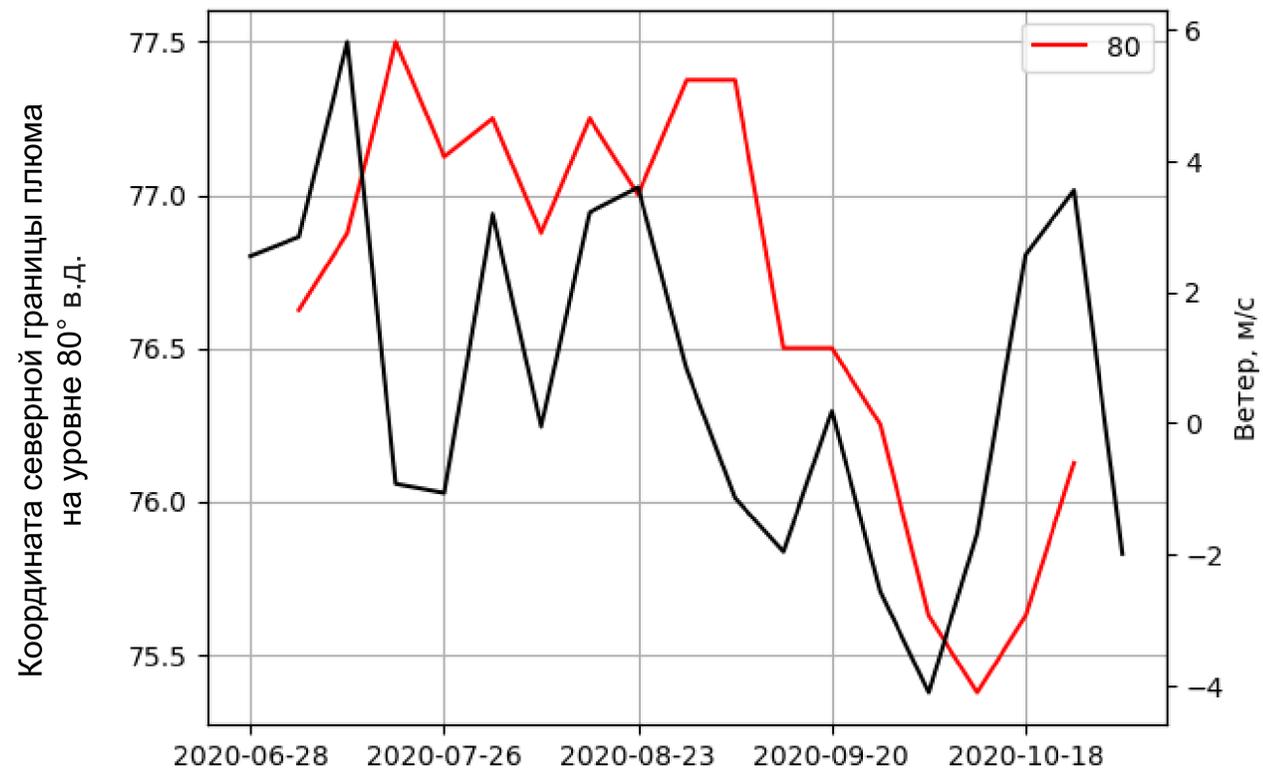
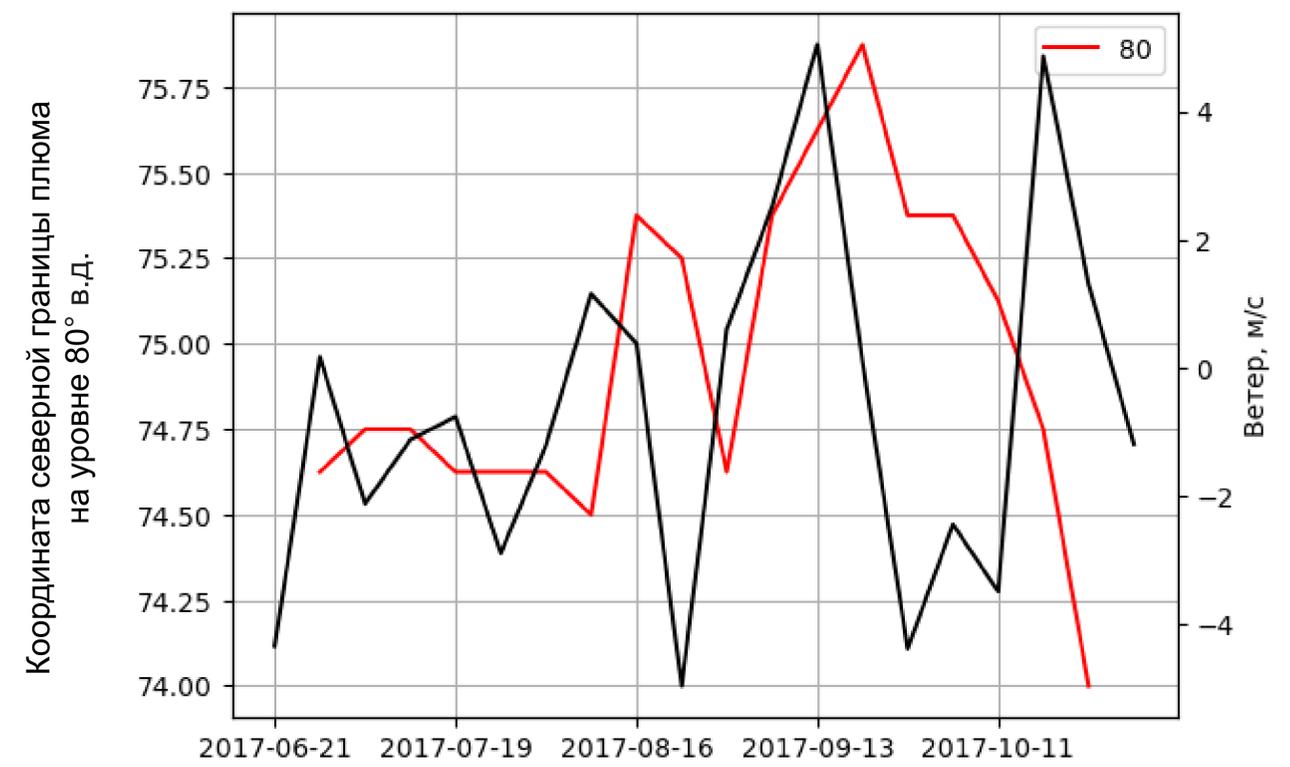
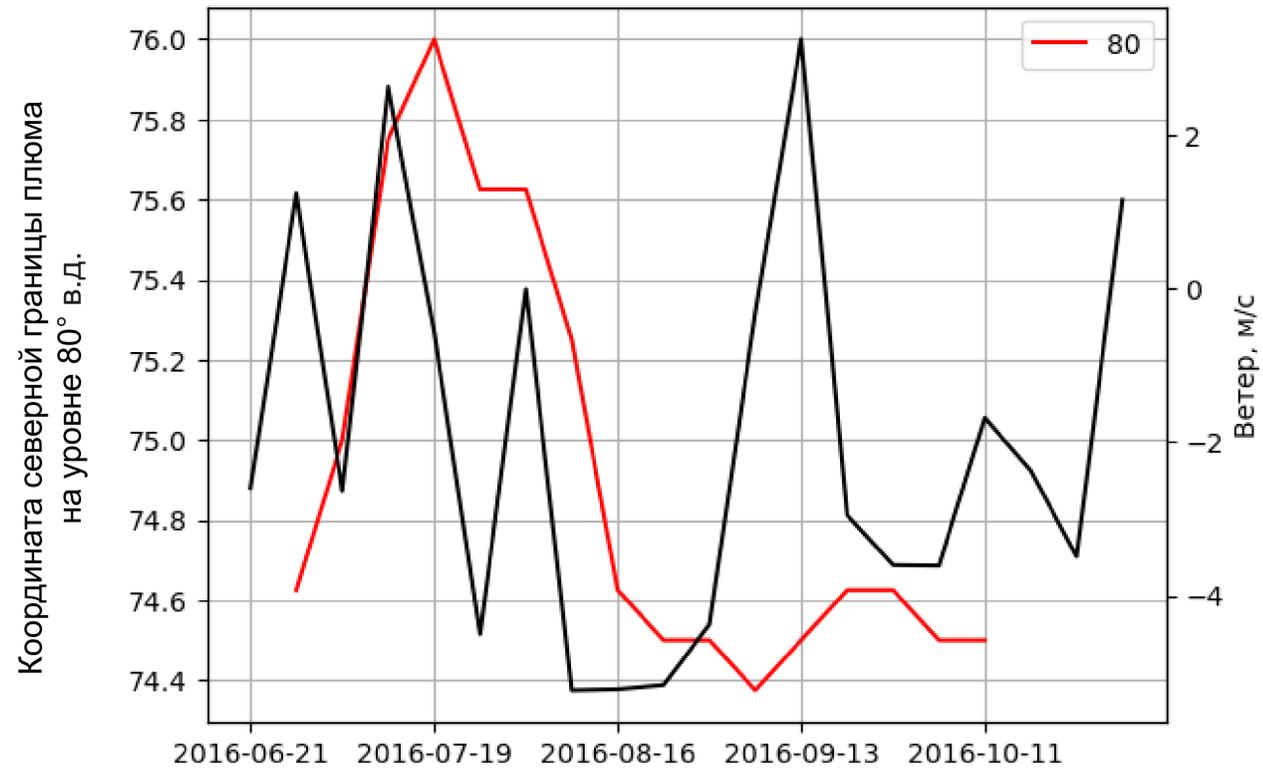
- Речной сток (влияет слабо)
- Ветровое воздействие (определяет движение)

$$U = \frac{\tau_y}{f\rho} \quad V = -\frac{\tau_x}{f\rho} \quad [\text{Ekman, 1905}]$$

$$\tau = C_w \rho_a V_a \vec{V}_a$$

$$C_w = 10^{-3} \cdot (0.61 + 0.063 \cdot V_a) \quad [\text{Smith, 1980}]$$

Динамика плюма под действием ветра



Проблемы классического описания

- Зависимость движения границы плюма от ветра есть
- Отклик движения плюма на изменение ветра происходит с задержкой в 1-2 недели
- Действие ветра может иметь свойство «накапливаться»

Главный вопрос

Под каким углом относительно ветра движется плюм?

Цель исследования

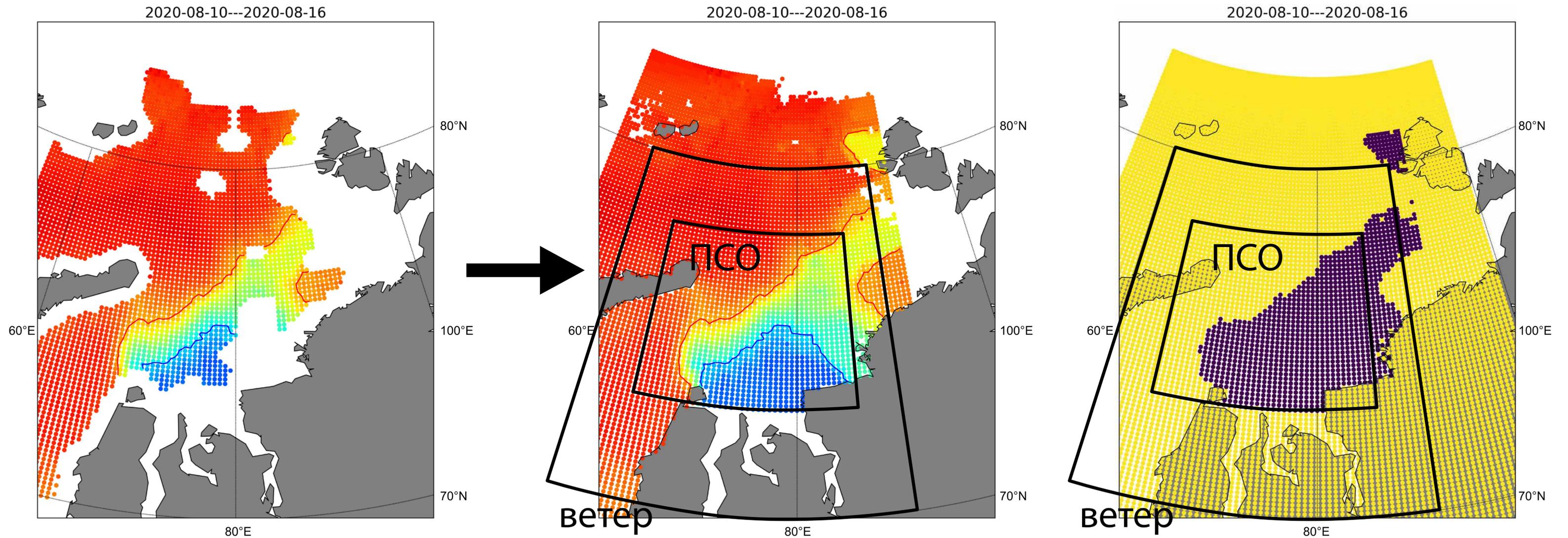
Исследование движения плюма Оби–Енисея под действием напряжения ветра:

- поиск наиболее значимых для движения плюма компонент ветра;
- поиск наиболее важных пространственных и временных характеристик ветра.

Основная идея

Статистическое моделирование движения плюма Оби–Енисея в течение заданного промежутка времени под действием поля ветра с последующим анализом значимости признаков ветра.

Данные: поверхностная соленость океана и ветер ERA-5

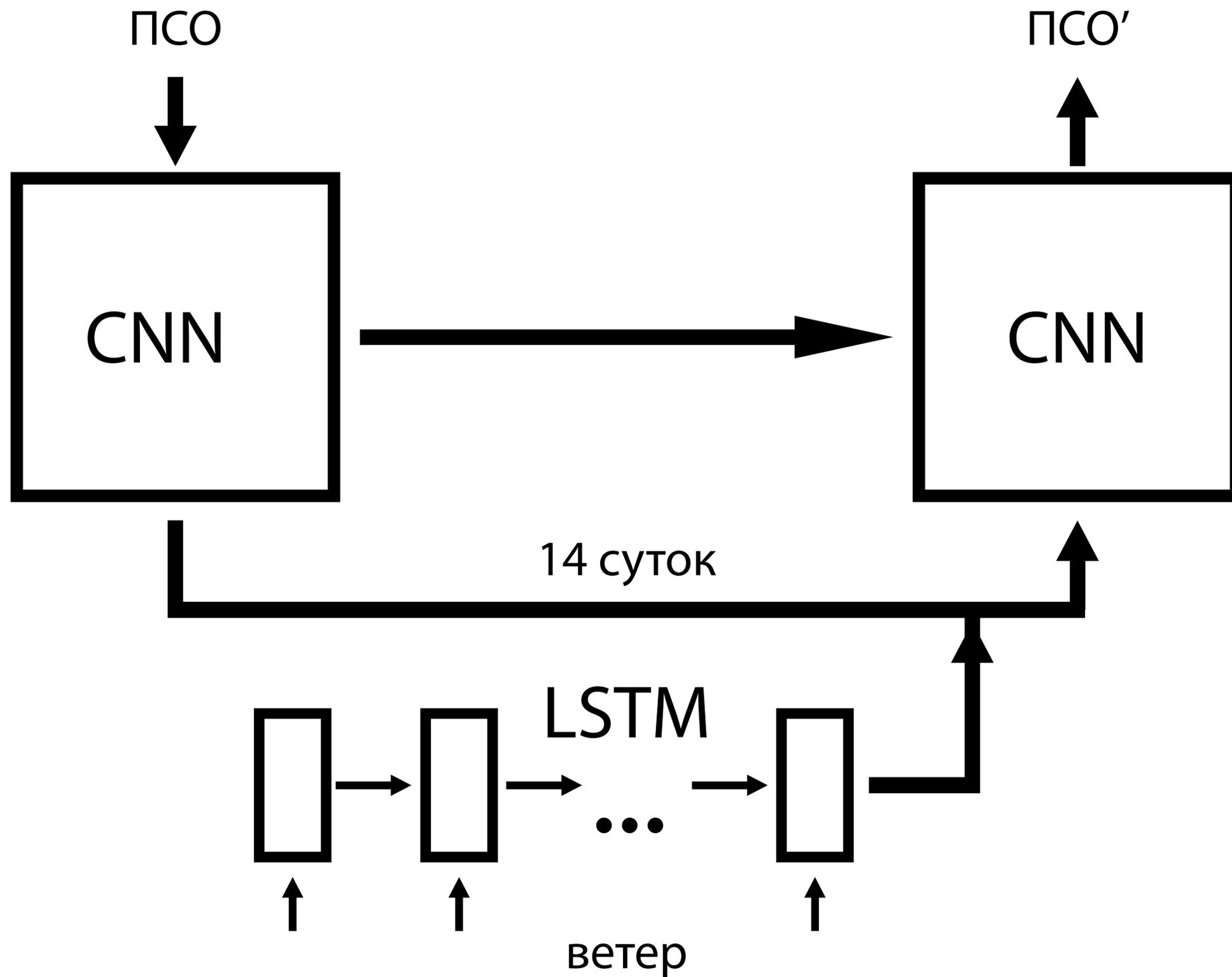


Данные PCSO
[Savin, 2024]

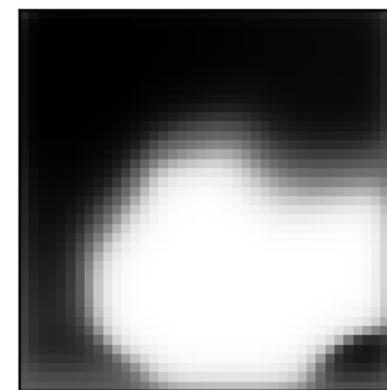
Интерполяция

Бинарная маска

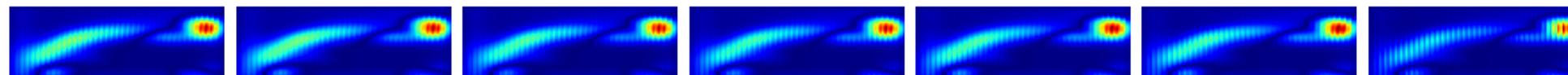
Архитектура модели нейросети



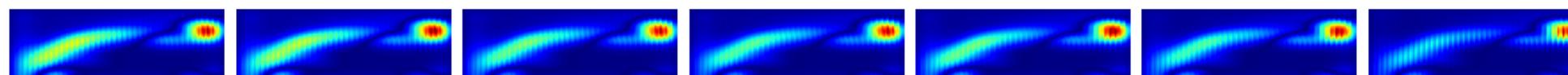
Пример результатов



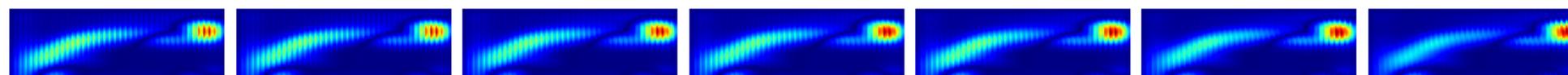
U



$U/|U|$



U^3



$1e-6$

$1e-6$

5

4

3

2

1

$1e-6$

6

5

4

3

2

1

$1e-6$

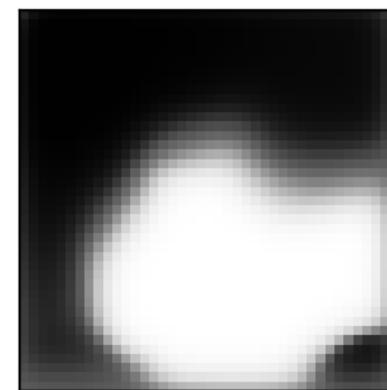
4

3

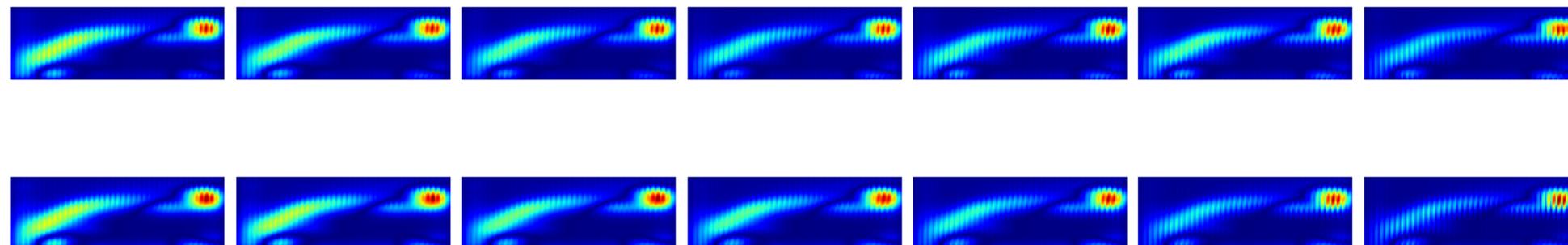
2

1

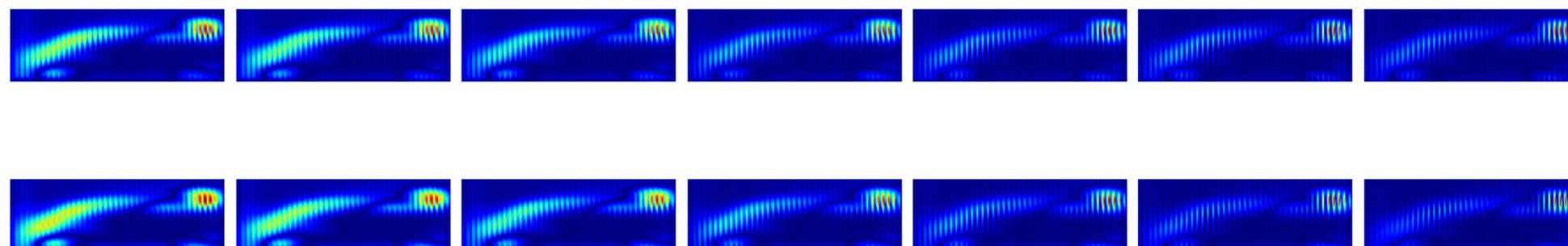
Пример результатов



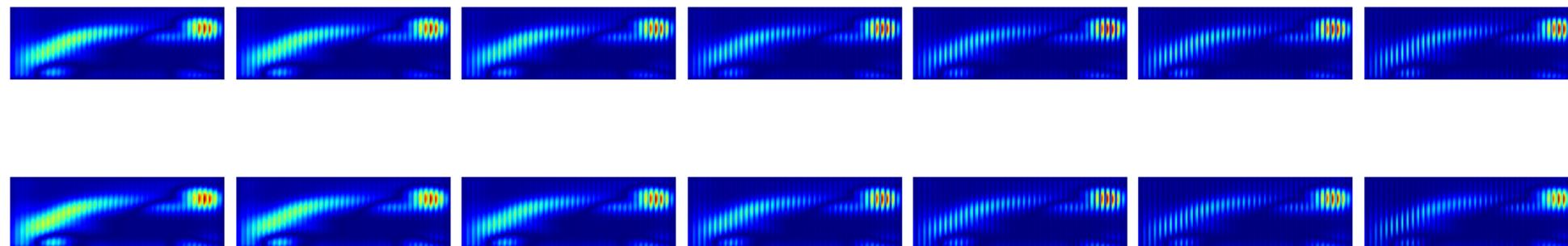
V



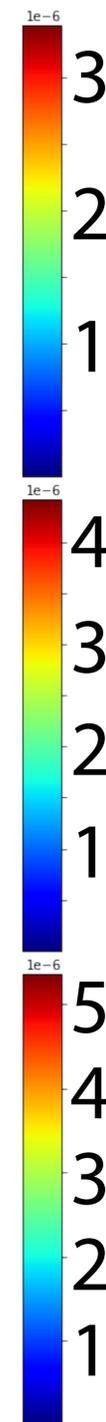
$V/|V|$



V^3



$1e-6$



Выводы

- Построенная модель позволяет анализировать значимость компонент ветра при решении задачи восстановления положения плюма Оби–Енисея
- Выявлены области в пространстве, в которых действие ветра имеет наибольшее значение
- Компоненты градиентов ветра, квадрата ветра и его куба имеют примерно одинаковый порядок, что говорит о примерно равной значимости этих компонент
- Не выявлено время наибольшего влияния ветра на движение плюма

Развитие

- Повышение качества выделения признаков из данных ветра, возможно, с использованием методов предобучения
- Переход от задачи бинарной классификации «плюм — не плюм» к задаче восстановления непосредственно ПСО