

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ ПОДСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ERA5 НА ПРИМЕРЕ Р.МЗЫМТА 2023, 2025 и 2026 гг.

Князев Н.А.

Институт космических исследований РАН, Москва
nkkniazev@gmail.com

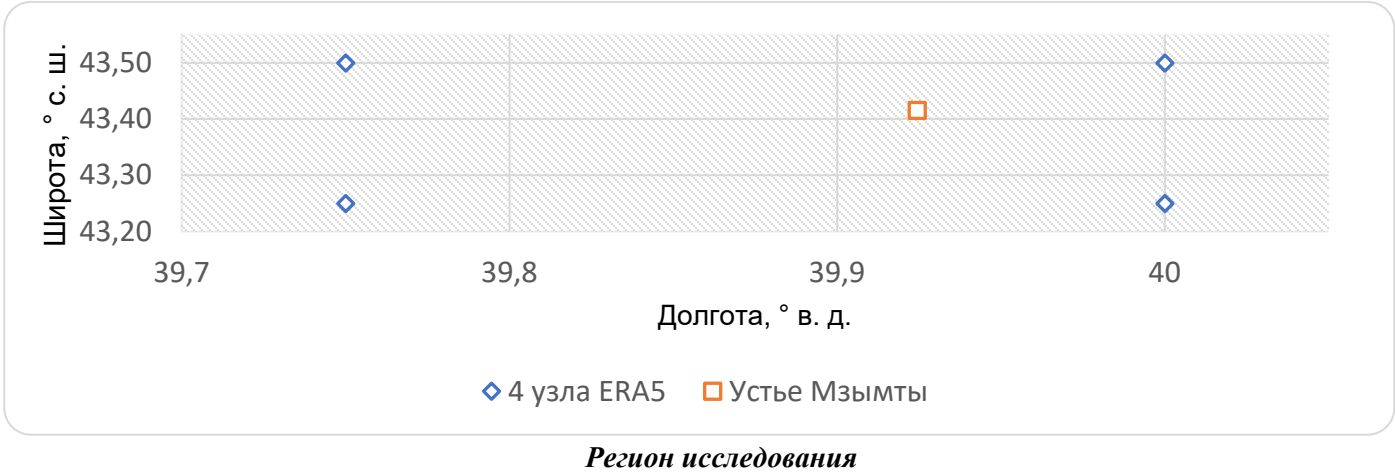


Мотивация

Для исследования распространения речных вод, содержащих растворённые и взвешенные вещества, в том числе антропогенные загрязнения, необходима информация о метеорологических условиях. Скорость и направление ветра относятся к основным факторам, определяющим распространение и перемешивание речных плумов в прибрежной зоне. Сотрудники ИКИ РАН проводят подспутниковые натурные измерения для оценки пространственных масштабов и характеристик речных плумов в различных регионах. Важной составляющей этих работ являются метеорологические наблюдения. Натурные измерения характеризуют локальные условия в период проведения работ, тогда как реанализ ERA5 позволяет оценивать метеорологический фон на более широких пространственных и временных масштабах. Для совместного использования этих источников необходимо оценить их согласованность с учётом различий масштабов и способов осреднения. Полученные оценки создают основу для дальнейшего использования метеорологических данных при исследовании распространения речных плумов.

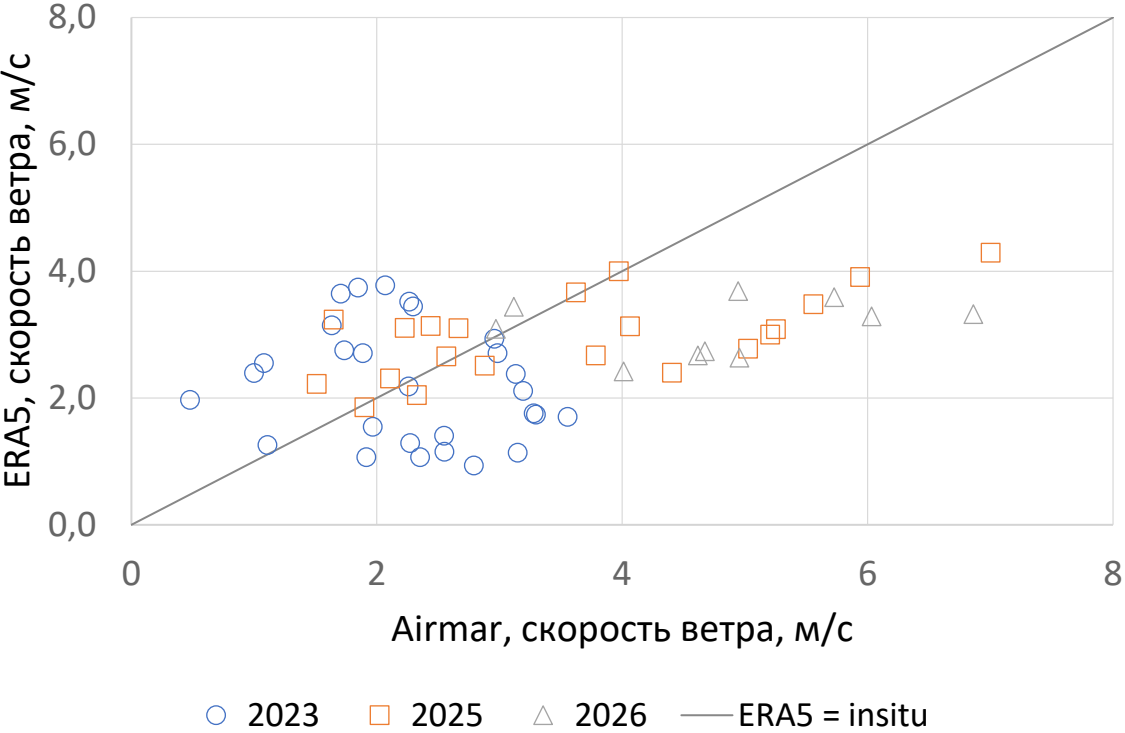
Используемые данные

В настоящей работе сопоставлены измерения, полученные с метеостанции Airmar150WX, установленной на высоте 2 м над водной поверхностью, и данные реанализа ERA5 в районе устья реки Мзымта за полевые кампании 2023, 2025 и 2026 гг (в 2024 г. не удалось получить метеоданные из-за глушения навигационного сигнала). Основное внимание уделено скорости и направлению ветра; температура воздуха и атмосферное давление рассмотрены как дополнительные параметры.



Результаты сравнения скорости ветра

Скорость ветра Airmar и ERA5



Скорость в каждом узле (ERA5_: $V = \sqrt{u^2 + v^2}$, где u – зональная компонента ветра ($u > 0$ – ветер с запада на восток), v – меридиональная компонента ветра ($v > 0$ – ветер с юга на север). Далее осредняются скорости узлов. Модуль среднего вектора ветра анализируется отдельно.

Местное время переведено в UTC. ERA5 интерполировано и осреднено на интервале наблюдений; неполное покрытие исключено.

Результаты сравнения

Год	n	Bias	MAE	RMSE	r
2023	28	-0.05	1.18	1.31	-0.22
2025	21	-0.65	1.09	1.40	0.63
2026	10	-1.71	1.79	2.05	0.26

n — число сопоставленных интервалов. Bias — средняя разность ERA5 и Airmar. MAE — среднее абсолютное расхождение. RMSE сильнее учитывает крупные расхождения. r — корреляция: Пирсона для скорости, температуры и давления, круговая для направления.

- 2023: средние скорости почти равны, но среднее абсолютное расхождение составляет 1,18 м/с.
- 2025: изменения скорости согласуются лучше ($r = 0,63$), при среднем расхождении 1,09 м/с.
- 2026: ERA5 в среднем ниже Airmar на 1,71 м/с, а связь изменений слабая ($r = 0,26$).

Применение к исследованию плюма

Для анализа отдельных эпизодов распространения плюма ветер ERA5 следует сопоставлять с Airmar. Занижение скорости может привести к недооценке ветрового воздействия в расчётах.

Результаты сравнения направления ветра

Направление ветра Airmar и ERA5

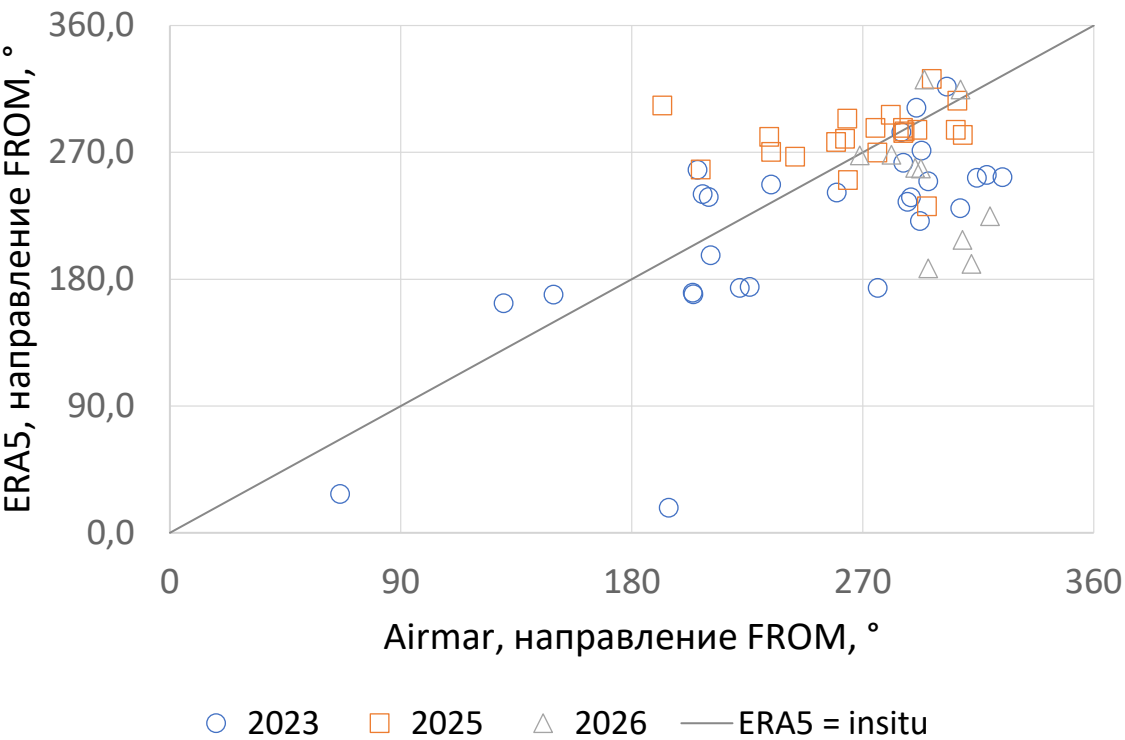


График показывает непосредственно пары направлений. Близость 0° и 360° учитывается в расчёте ошибок, даже если точки на графике разделены границей шкалы.

Достоверное среднее около севера: 359° и 1° дают круговое среднее 0°.

Круговое сопоставление направлений

Год	n	Bias	MAE	RMSE	r
2023	28	-30.7	45.1	56.8	0.55
2025	21	11.8	25.1	35.8	0.22
2026	10	-47.1	53.9	69.8	-0.40

В 2025 г. среднее расхождение направлений составляет 25,1°. В 2023 и 2026 гг. оно заметно больше: 45,1° и 53,9°. Близость направлений зависит от условий конкретной кампании.

В 2026 г. среднее угловое смещение равно −47,1°, а RMSE достигает 69,8°. Помимо среднего отклонения, имеются интервалы с крупными расхождениями.

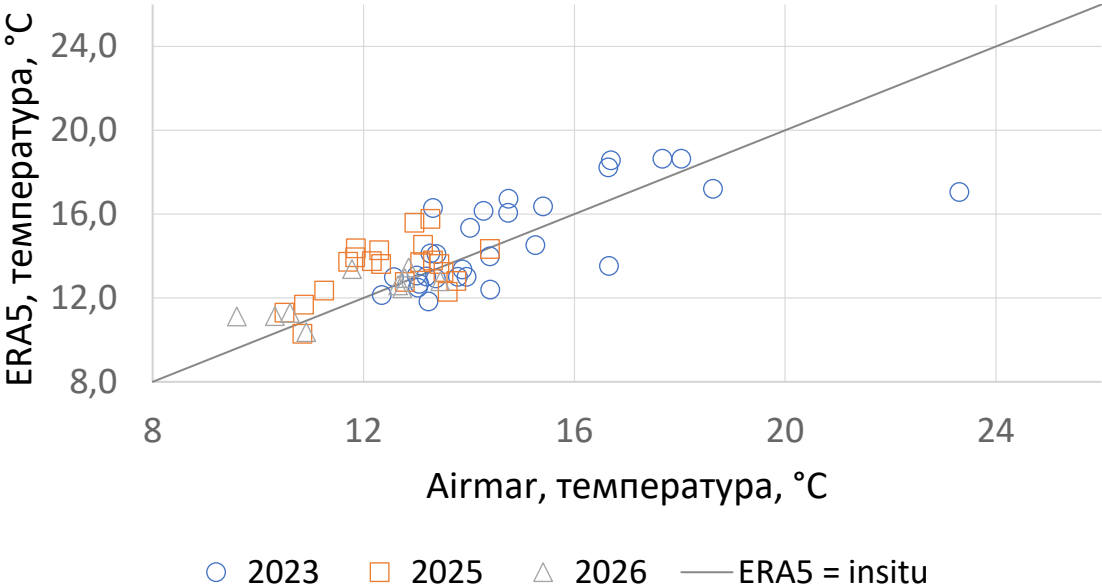
В 2025 г. меньшая MAE сочетается со слабой круговой корреляцией ($r = 0,22$): близость направлений и согласованность их изменений различаются.

Применение к исследованию плюма

Для анализа ориентации плюма направление ERA5 следует проверять по местному ветру. Расхождения в десятки градусов могут изменить интерпретацию ветрового воздействия. Их влияние на наблюдаемое распространение речных вод предстоит оценить отдельно.

Результаты сравнения температуры воздуха и давления

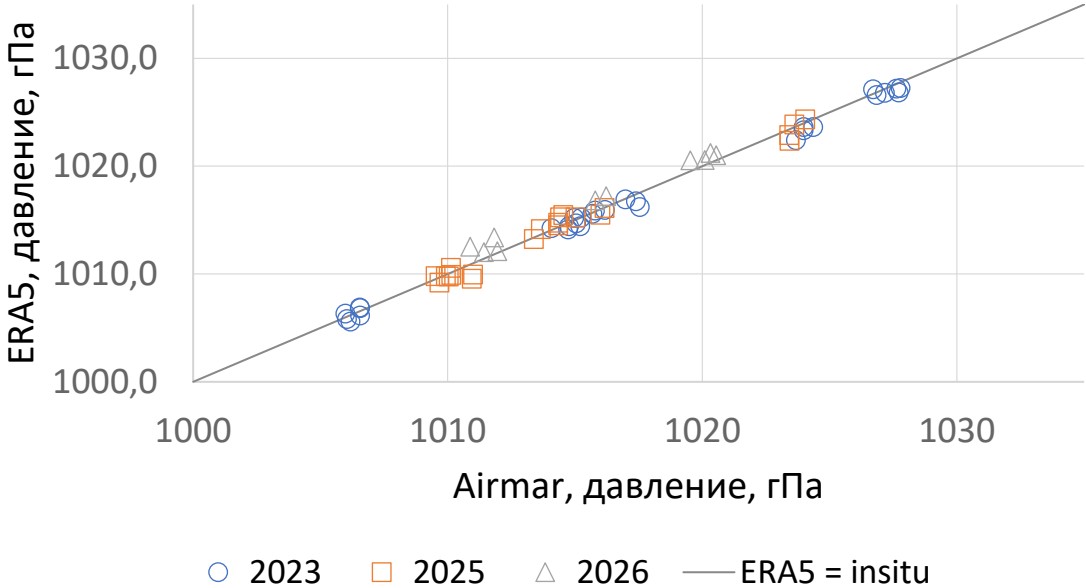
Температура воздуха



Год	n	Bias	MAE	RMSE	r
2023	29	-0.06	1.27	1.76	0.69
2025	21	0.90	1.20	1.45	0.54
2026	10	0.38	0.69	0.85	0.80

В 2023 г. средние температуры почти совпадают, но расхождения отдельных интервалов заметны: RMSE = 1,76 °C. В 2025 г. ERA5 в среднем теплее на 0,90 °C. В 2026 г. согласование лучше: RMSE = 0,85 °C и r = 0,80. Однако эта оценка получена на меньшей выборки данной кампании (n = 10) .

Атмосферное давление



Год	n	Bias	MAE	RMSE	r
2023	29	-0.32	0.45	0.55	0.998
2025	21	-0.07	0.49	0.60	0.992
2026	10	0.88	0.88	0.99	0.993

Высокая корреляция давления ($r > 0,99$) отражает прежде всего различия между днями. Внутри дня связь слабее: после удаления дневных средних $r = 0,57-0,85$. В 2026 г. ERA5 в среднем выше на 0,88 гПа. Таким образом, высокая корреляция сочетается с систематическим смещением.

Выводы

- Единая обработка трёх кампаний позволила оценить, насколько ERA5 отражает условия у устья Мзымты. Согласование времени и круговое осреднение направлений создают основу для совместного использования источников.
- Для скорости ветра близкое к нулю смещение не гарантирует совпадения изменений. В 2025 г. связь сильнее, а в 2026 г. ERA5 в среднем ниже на 1,71 м/с. При оценке ветрового воздействия важны и величина скорости, и её изменчивость.
- Средний угол расхождения направлений составляет 25–54°. Эти различия могут быть существенны при интерпретации пути распространения плюма. Связь ошибок ветра с фактической динамикой речных вод предстоит проверить.
- Температура и давление дополняют оценку метеорологического фона. Результаты характеризуют изученные дни и помогают определить, какие локальные особенности требуют дополнительной проверки.

Перспективы дальнейших исследований

Сравнить Airmar, ERA5 и данные реанализа NCEP на одинаковых интервалах. Выбрать продукт NCEP, покрывающий даты кампаний, и согласовать разрешение и параметры. Это позволит проверить, какие расхождения устойчивы для разных источников.

Расширить сезонный охват и сопоставить отдельные узлы. Затем связать ветровые режимы со спутниковыми оценками площади и направления распространения плюма, чтобы оценить влияние выбора метео данных на интерпретацию наблюдений.