

Картирование температуры поверхности океана по данным микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ со спутника «Метеор-М» № 2-4

Global sea surface temperature monitoring using microwave radiometer MTVZA-GYa data from Meteor-M №2-4 satellite

Масляшова А.О.^{1,2}, Успенский А.Б.¹,

¹ ФГБУ «НИЦ «Планета»

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Микроволновой радиометр МТВЗА-ГЯ, постановка задачи картирования ТПО

Измерения микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ (с функциями сканера и атмосферного зондировщика) в составе полезной нагрузки КА серии "Метеор-М" (в том числе, КА "Метеор-М" № 2-4, запуск 29.02.2024г.) предназначены для дистанционного определения геофизических параметров атмосферы и подстилающей поверхности, включая **получение оценок температуры поверхности океана (ТПО, T_s)**.

Радиометрические каналы сканера МТВЗА-ГЯ имеют рабочие частоты в **окнах прозрачности атмосферы 10,6, 18,7, 23,8, 31,5, 36,5, 42,0, 48,0 и 91,65 ГГц**. Пространственное разрешение – 16–198 км (в зависимости от канала), радиометрический шум в диапазоне – 0.4–1.7 К. Режим кругового конического сканирования, полоса обзора 1500 км, угол визирования - 53,3°, угол падения - 65°. На этапе предварительной обработки и пространственного усреднения формируются пиксели размером 32×32 км и 48×48 км для отдельных каналов.

Бортовая (внутренняя) калибровка каналов МТВЗА-ГЯ определяет шкалу антенных температур T_a , которые, вследствие различных мешающих факторов, могут заметно отличаться от яркостных температур T_y , используемых в приложениях. Для перехода к шкале T_y необходима **внешняя (абсолютная) калибровка** данных МТВЗА-ГЯ.



Цель работы – разработка и тестирование статистического алгоритма (на базе ИНС - искусственных нейронных сетей) дистанционного определения ТПО и построения карт T_s глобального покрытия по данным МТВЗА-ГЯ в условиях безоблачной и облачной атмосферы.

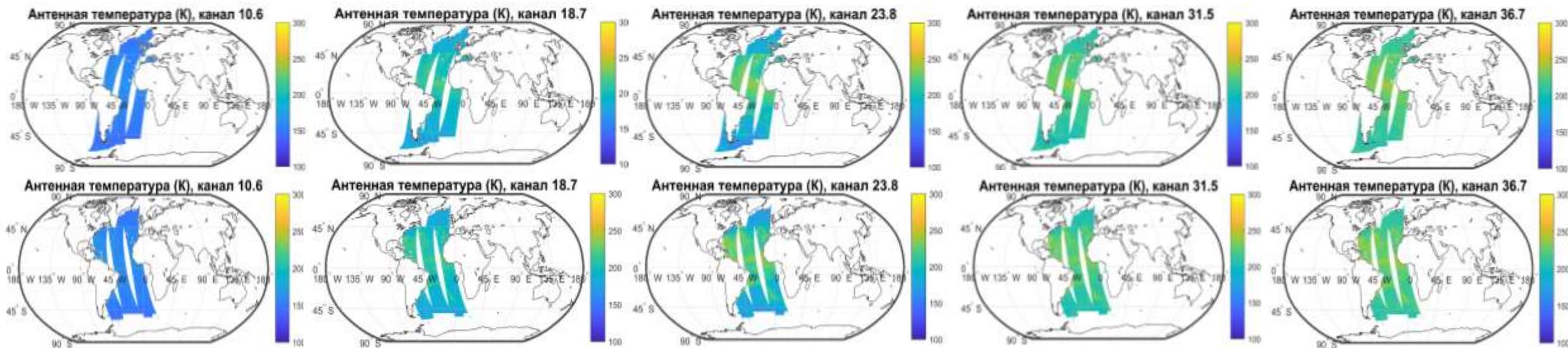
Предпосылки и особенности развитого подхода:

1. Входные данные (предикторы, признаки) - измеренные антенные температуры T_a . Отказ от использования яркостных температур T_y позволяет избежать влияния дополнительных погрешностей, вносимых процедурой внешней калибровки.
2. Использование для дистанционного определения T_s измерений спутниковых ИК - радиометров (например, радиометр МСУ-МР, КА серии "Метеор-М") обеспечивает высокие точность (лучше 1,0К) и пространственное разрешение (лучше 1,0 км) оценок в **условиях безоблачной атмосферы**. Привлечение данных МТВЗА-ГЯ обеспечивает **«всепогодное» картирование T_s** , но с ухудшенными точностью и пространственным разрешением.

Подготовительный этап: данные и методы

В качестве спутниковых компонент обучающей (А) и тестовой (Б) выборок использовались измерения антенной температуры (T_a) радиометром МТВЗА-ГЯ, ограниченные территорией Атлантического океана в каналах 10.6, 18.7, 23.8, 31.5, 36.7 вертикальной поляризации.

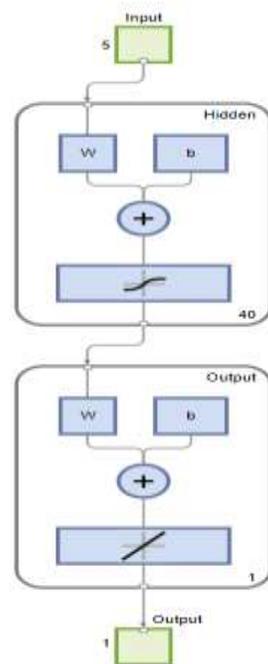
А



Б

Для обучения нейросетевой модели были использованы синхронные пространственно-совмещенные величины T_a по данным МТВЗА-ГЯ и T_s по данным реанализа ERA5 (карты температуры поверхности океана на регулярной сетке $0.25 \times 0.25^\circ$).

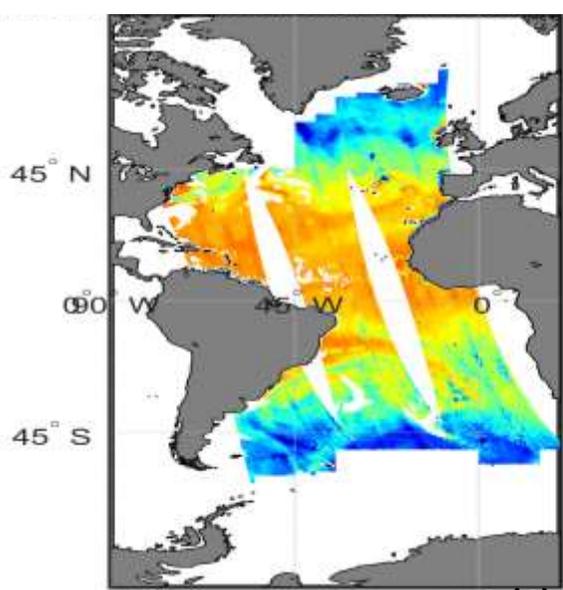
Удаление данных, не относящихся к водной поверхности происходило по маске, встроенной в данные измерений T_a . Также были удалены пиксели, в которых отмечался приводные ветер больше 10 м/с и осадки больше 1 мм. Данные об осадках и ветре взяты из реанализа ERA5.



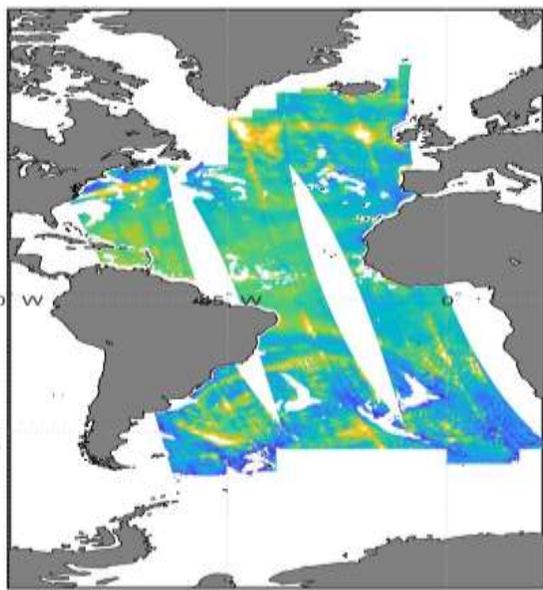
Искусственная нейронная сеть (ИНС) была создана с помощью пакета программ **Neural Network** на языке программирования **Matlab**. Выбрана двухслойная однонаправленная сеть с сигмоидальной функцией активации нейронов скрытого слоя нейронов и линейной функцией активации нейронов выходного слоя. Сеть обучалась с помощью алгоритма методом обратного распространения ошибки с использованием Байесовской регуляризации. Количество входных параметров – 5, количество нейронов внутреннего слоя – 40, количество нейронов внешнего слоя – 1, количество выходных параметров – 1.

Результаты

Температура поверхности океана и количество осадков по данным реанализа ERA5 для обучающей (30.09.2024 - А, В) и для тестовой выборки (10.10.2024 - Б, Г)

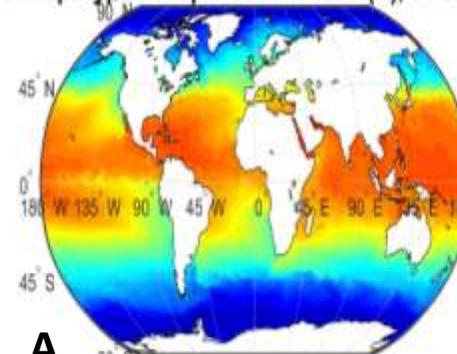


Восстановленная ТПО (С)



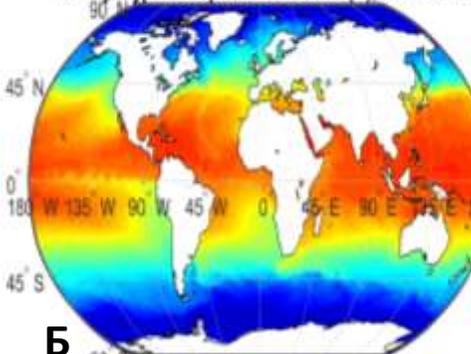
Разница между реанализом и восстановленной ТПО

Температура поверхности океана (С), 30.09.2024



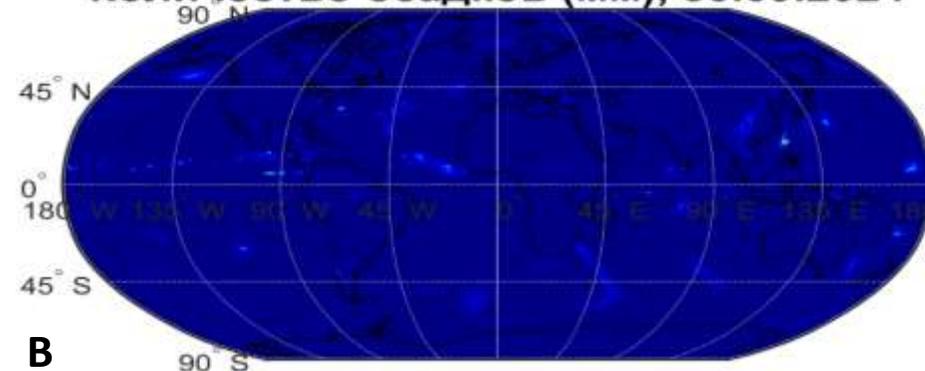
А

Температура поверхности океана (С), 10.10.2024



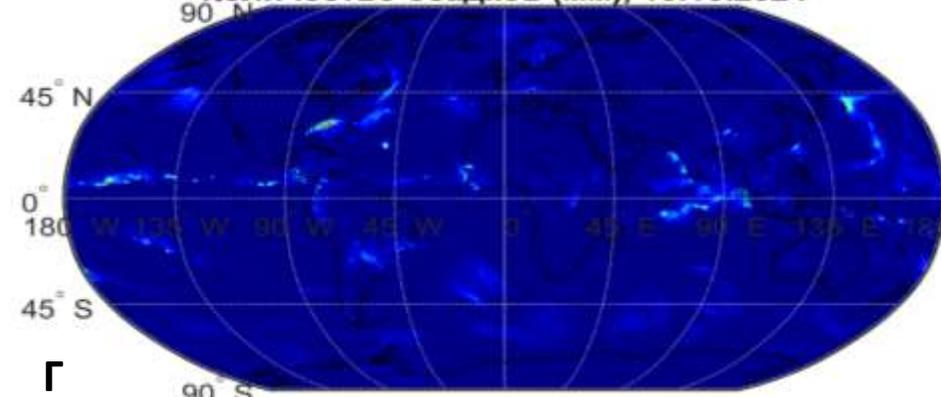
Б

Количество осадков (мм), 30.09.2024

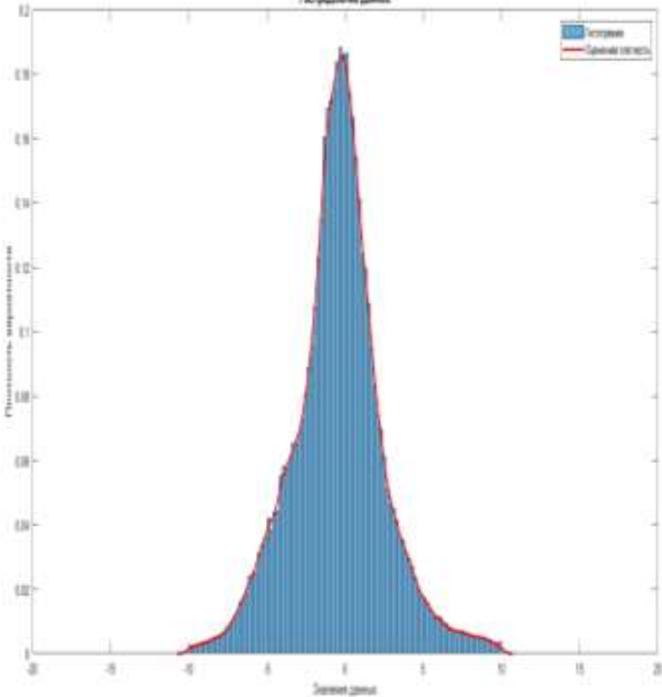


В

Количество осадков (мм), 10.10.2024



Г



Средняя разница (систематическое смещение) значений ТПО по реанализу и спутниковой оценке T_s составляет +0,7 градуса. Стандартное отклонение варьирует от 2,0 до 2,8 градусов в зависимости от витка. В представленных результатах исключены оценки T_s для фрагментов акваторий, на которых детектированы осадки; также исключены оценки T_s со смещениями больше +10 градусов. Такие ошибки возникают в зонах многоводных плотных облаков и вблизи материков (возможно, из-за ошибок географической привязки).

Выводы

1. Разработан и протестирован статистический алгоритм (на базе ИНС) дистанционного картирования T_s глобального покрытия по данным **МТВЗА-ГЯ / КА "Метеор-М" № 2-4** в условиях безоблачной и облачной атмосферы. Для обучения и тестирования алгоритма использовались синхронные пространственно-совмещенные значения T_a (по данным МТВЗА-ГЯ) и T_s (по данным реанализа ERA5) для двух дат и акватории Атлантики.
2. Статистика погрешностей оценивания ТПО – после фильтрации грубых ошибок систематическое смещение равно +0,7град., стандартное отклонение варьирует от 2,0 до 2,8 град. для разных витков (данные реанализа **ERA5** приняты за «истину»).
3. Дальнейшее развитие описанного подхода связано с поиском оптимального состава предикторов (в том числе, будущего использования данных в канале 6, 9 ГГц), создания «региональных» алгоритмов, а также разработки методик фильтрации зашумленных или недостоверных данных **МТВЗА-ГЯ** и ошибочных оценок T_s без привлечения внешней информации, привязанной к срокам зондирования с помощью **МТВЗА-ГЯ**.

Литература

1. А.Б. Успенский, Е.К. Крамчанинова, В.С. Косцов и др. Развитие системы внешней калибровки и валидации данных измерений микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» № 2 // Совр. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 27-35.
2. Сазонов Д.С., Садовский И.Н., Кузьмин А.В. Космический эксперимент «Конвергенция». Дистанционное определение температуры океана по радиоизмерениям на частотах 10.65, 18.7 и 36.5 ГГц // Исслед. Земли из космоса. 2020. № 2. С. 82–94.
3. Сазонов Д.С. Алгоритм восстановления температуры поверхности океана, скорости приводного ветра и интегрального паросодержания по данным МТВЗА-ГЯ // Совр. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. №1. С. 50–64.
4. Hersbach H. et al. The ERA5 global reanalysis //Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2020. – Т. 146. – №. 730. – С. 1999-2049.
5. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.