

Восстановление геопараметров системы «океан-атмосфера» по радиометрическим измерениям МТВЗА-ГЯ

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (гос. рег. № 01.20.0.2.00164)



1

Сазонов Д.С.
Институт космических исследований (ИКИ РАН)

e-mail: sazonov_33m7@mail.ru

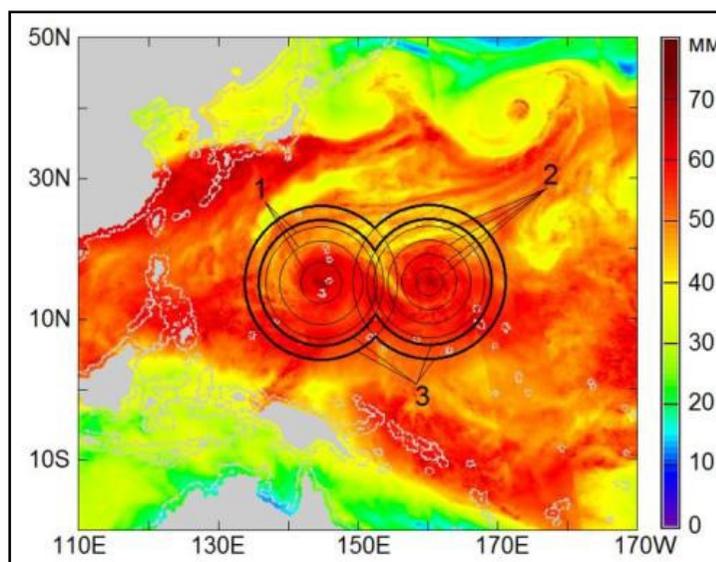
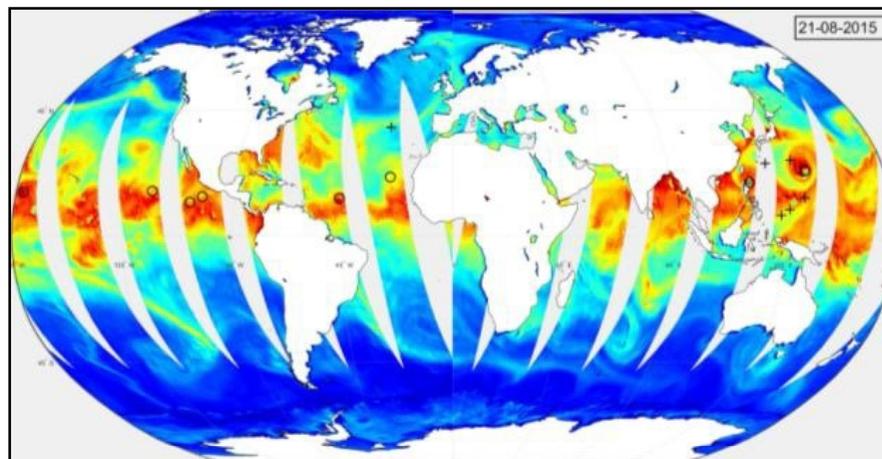
АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В современном мире многие научные и практические задачи в метеорологии, климатологии, рационального природопользования и других областях успешно решаются с помощью анализа спутниковых данных.

Наиболее востребованными для этих исследований являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутников.

Одним из мощных инструментов ДЗЗ является микроволновая радиометрия.

К важным достоинствам данного метода относятся: всепогодность, глобальный охват поверхности и возможность восстанавливать большое число физических параметров поверхности и атмосферы.



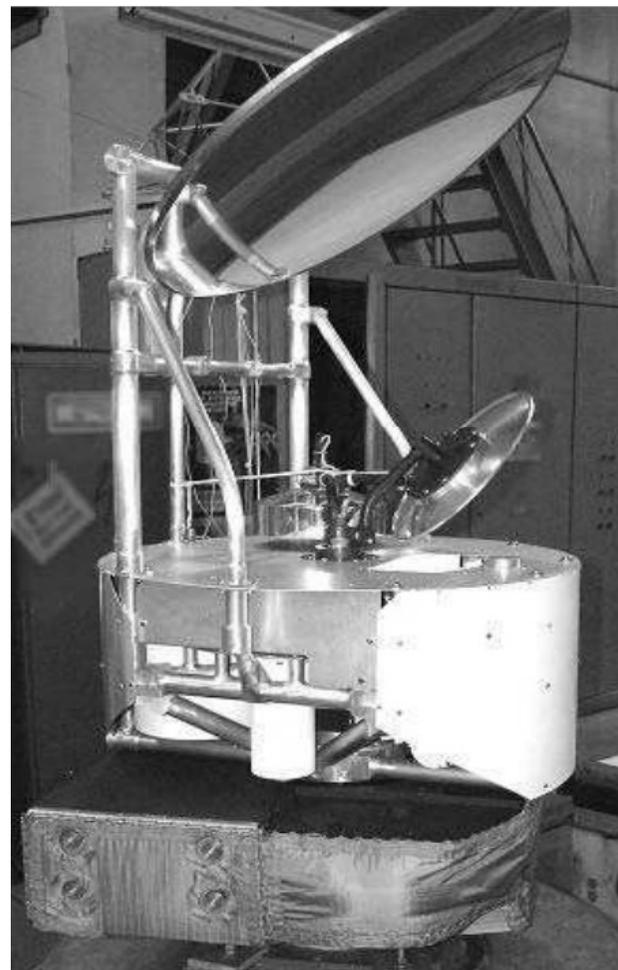
КОСМИЧЕСКИЕ РАДИОМЕТРЫ ДЗ

Среди микроволновых приборов дистанционного зондирования распространены температурно-влажностные сканеры/зондировщики, такие как серия приборов AMSU, SSM/I и их аналоги.

Одним из их аналогов являются приборы серии МТВЗА (*Модуль Температурного и Влажностного Зондирования Атмосферы*) российского производства.

Данный прибор обладает большим числом радиометрических каналов, среди которых есть частоты, как у зарубежных приборов, также есть и дополнительные частотные каналы.

Главным отличием является угол зондирования поверхности, который составляет **65** градусов, когда для большинства приборов такого типа используется угол порядка **55** градусов. Такое отличие приводит к необходимости разрабатывать **новые** (или переделывать уже имеющиеся) алгоритмы обработки данных, для того чтобы конечный пользователь мог получить качественную информацию из нового независимого источника.



*Микроволновый сканер/
зондировщик МТВЗА-ГЯ*

Результаты обработки спутниковых радиометрических данных обычно представляют в виде наборов измеренных радиоярких температур и/или восстановленных геофизических параметров системы «подстилающая поверхность – атмосфера».

К ним относятся:

- температура поверхности океана (ТПО);
- скорость приводного ветра (U_{10});
- интегральное паросодержание (V);
- водозапас облачности (L) (в данной работе не рассматривается);
- интенсивность осадков (R) (в данной работе не рассматривается).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

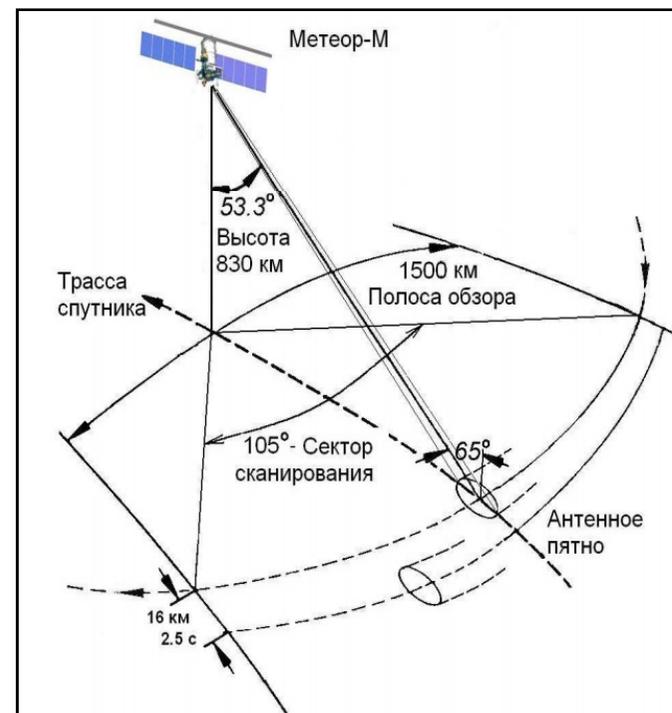
Разработать алгоритмы восстановления указанных геопараметров по имеющемуся набору данных прибора МТВЗА.

РАДИОМЕТР МТВЗА-ГЯ

По информационным характеристикам и области применения МТВЗА-ГЯ соответствует зарубежным аналогам – зондировщикам AMSU-A и AMSU-B (спутники NOAA, США и MetOp, ESA), ATMS (спутник SNPP, США), сканерам AMSR-E (спутник Aqua, США), AMSR2 (спутник GCOM-W1, Япония) и сканеру/зондировщику SSMIS (спутники DMSP F16–F19, США). Информационные характеристики и схема сканирования показаны на слайде.

Технические характеристики прибора МТВЗА-ГЯ

Диапазон	10,6; 18,7; 23,8; 31,5; 36,5; 42; 48; 52–57; 91; 183,31 ГГц
Пространственное разрешение (антенное пятно)	от 9×21 до 89×198 км
Приведённый пиксель изображения	от 16×16 до 48×48 км
Чувствительность не хуже	0,3 – 1,7 К/пиксель
Полоса обзора	1500 км
Сканирование	коническое, круговое
Режим работы	непрерывный
Период сканирования	2,5 с
Нестабильность вращения	10 ⁻⁴
Поток данных	35 Кбит/с
Объём ЗУ	1 Гбайт
Масса, не более	94 кг
Потребление, не более	80 Вт



Г.М. Чернявский, Л.М. Митник, В.П. Кулешов, М.Л. Митник, И.В. Чёрный, Микроволновое зондирование океана, атмосферы и земных покровов по данным спутника «Метеор-М» № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. №4. С. 78–100

ПОЛУЧЕННЫЕ РАННЕЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На предыдущей конференции в 2020 году был представлен доклад:

Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Пашинов Е.В. Восстановление температуры поверхности океана и скорости приводного ветра по данным прибора МТВЗА // Восемнадцатая Всероссийская открытая конференция с международным участием "Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса": Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2020. С.46

В указанном докладе, для восстановления ТПО и скорости приводного ветра:

- выбран реанализ для обучения регрессионных соотношений;
- обоснован и выбран метод построения регрессий;
- выбраны радиометрические каналы прибора МТВЗА-ГЯ;
- показана необходимость использования нормированных переменных;
- проанализированы данные за июнь-июль 2020 года;
- выполнена проверка коэффициентов регрессии по уровню значимости и убраны из уравнения факторы, влияние которых незначительно, либо полностью отсутствует.

Были получены следующие результаты:

- Восстановить ТПО можно с точностью (СКО) $< 2,4$ градуса в диапазоне температур от 273 до 305 К;
- Для U_{10} СКО < 1.8 м/с при скоростях до 25 м/с.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ ДАННЫЕ

Спутниковые данные МТВЗА-ГЯ поступают в ЦКП (Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН) «ИКИ-Мониторинг» в виде сформированных потоков данных и сопутствующей информации звёздных датчиков. Результаты сохраняются в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>), что обеспечивает автоматическое формирование наборов данных для дальнейшей обработки и отображения в картографическом веб-интерфейсе системы Vega-Science (<http://sci-vega.ru/>).

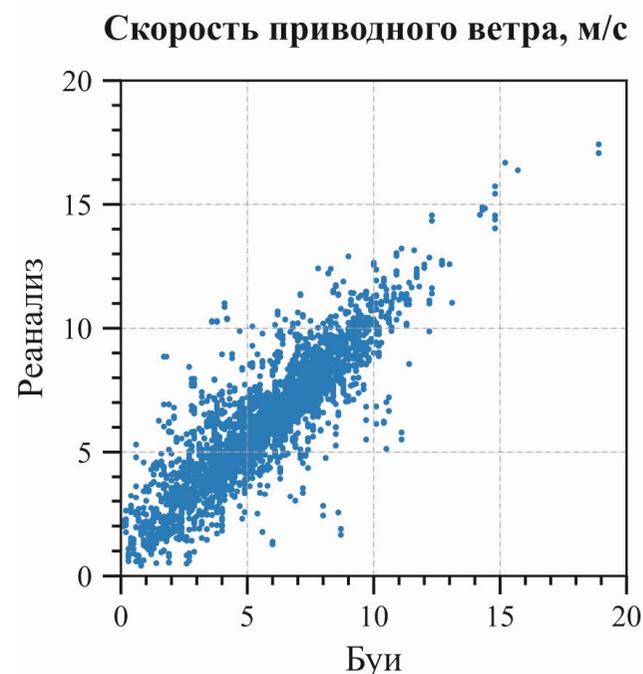
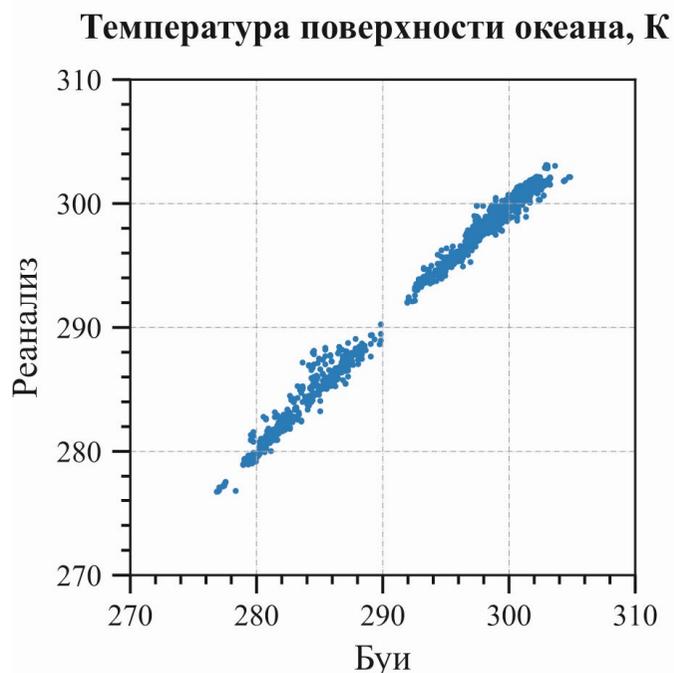
Для выполнения анализа были взяты данные за период с февраля по декабрь 2020г. Внутреннее содержание данных состоит из: времени, даты, координат широты и долготы, углов засвета солнца, типа поверхности и радиометрических измерений на каждом частотном канале и поляризации.

В качестве исходных данных для ТПО, скорости приводного ветра и интегрального параосодержания могут быть взяты данные реанализа или данные измерений буев.

Данные реанализа взяты из источника: *Climate Data Store ECMWF reanalysis* (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>) (Hersbach et al., 2018).

Данные буев взяты с ресурса NOAA/NDBC (*National Oceanic and Atmospheric Administration / National Data Buoy Center* <https://www.ndbc.noaa.gov/>). Эти данные были собраны и предоставлены NOAA/NDBC в свободный доступ. За 2020 год было собрано данных с 768 буев расположенных по всей акватории мирового океана.

ДААННЫЕ БУЕВ VS РЕАНАЛИЗ



Сравнение между реанализом и данными буев показало, что:

- корреляция между данными высокая (для ТПО практически 1), поэтому ожидается схожесть результатов: обучение регрессии данными реанализа и буюв.
- данные буюв не содержат информации по интегральному паросодержанию.
- количество измерений буюв много меньше, чем данных реанализа (которые имеют глобальный охват).

Поэтому, было принято решение использовать в качестве **обучающей выборки только данные реанализа**.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

Радиометр МТВЗА –ГЯ имеет в своем составе 29 радиометрических каналов. Под радиометрическим каналом прибора МТВЗА понимается информация, полученная на одной частоте и на одной поляризации.

Используемые каналы данных (частота ГГц, поляризации)
10,6 (В, Г)
18.7 (В, Г)
23.8 (В, Г)
36.7 (В, Г)
31.5 (В, Г)
91.6 (В)

В ходе пробного построения регрессии установлено, что:

- каналы в линиях поглощения водяного пара и кислорода не оказывают влияния на восстановление ТПО и скорости ветра, на восстановление интегрального параосодержания не оказывают значительного улучшения точности;
- на некоторых каналах есть сбои и высокий уровень шумов, они не используются;
- для восстановления геопараметров использовано всего 11 каналов данных (указаны в таблице).

РЕГРЕССИОННОЕ УРАВНЕНИЕ

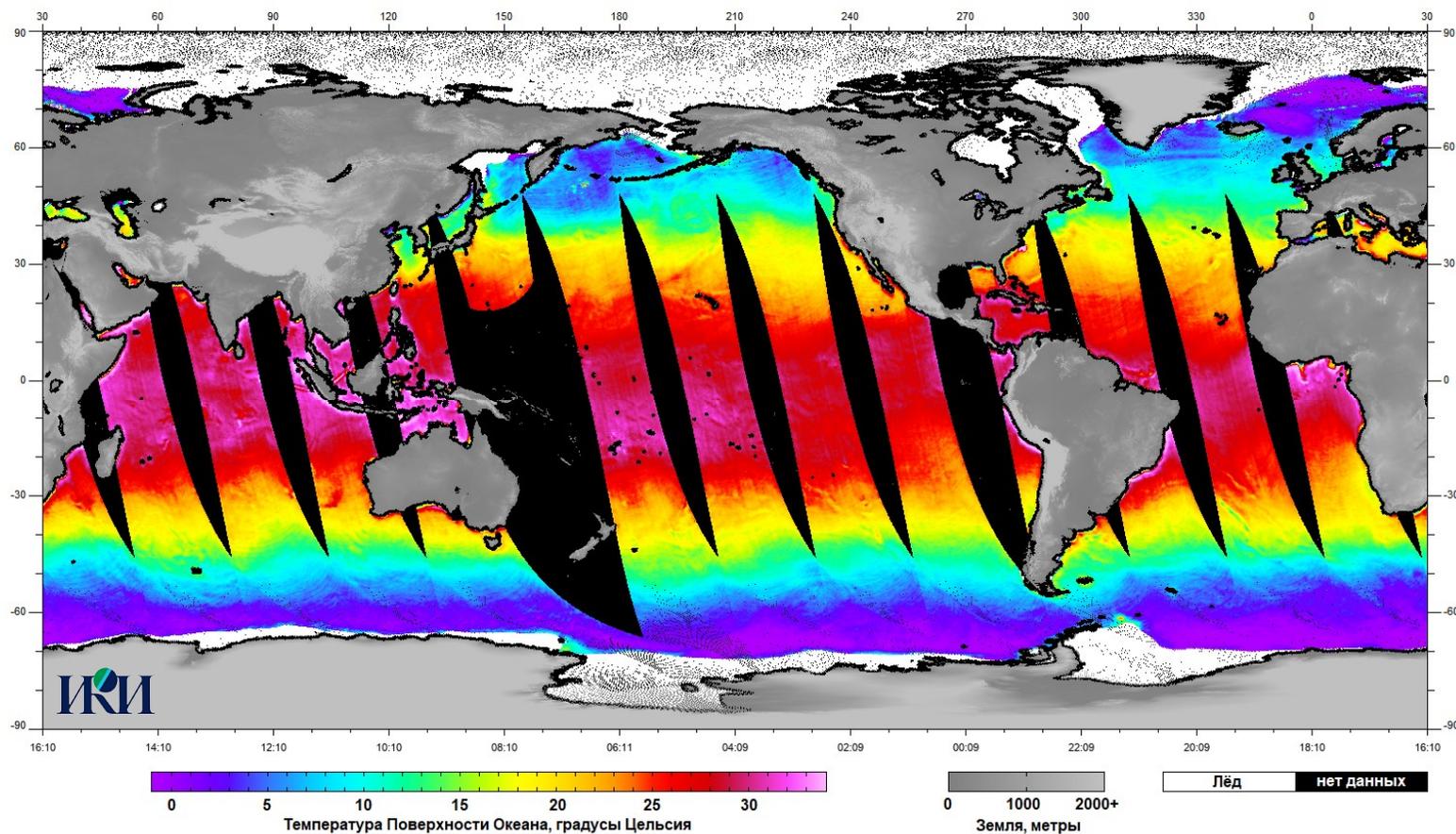
Регрессионная формула состоит из 78 слагаемых (77 относятся к регрессии и 1 к зависимости от широты):

$$\left. \begin{array}{l} \text{ТПО} \\ U_{10} \\ V \end{array} \right| = a_0 \cdot \cos(\text{lat}) + \sum_{i=1}^{11} a_i \cdot T_i + 2 \sum_{j=1}^{55} b_j \cdot T_j^* + \sum_{i=1}^{11} c_i \cdot T_i^2$$

где: a , b , c – наборы коэффициентов регрессии; T_i , T_j^* – наборы радиометрических каналов; lat – широта точки наблюдения. Набор T_i соответствует слагаемым из радиометрических каналов (например: $T_{10,6}^V$). Набор T_j^* соответствует слагаемым из перекрестных радиометрических каналов вида $(2ab)$ (например: $2 \cdot T_{10,6}^H \cdot T_{91,6}^V$). Регрессионное уравнение очень усложнено введением перекрестных слагаемых, однако, именно они позволяют существенно повысить точность восстановления физических геопараметров.

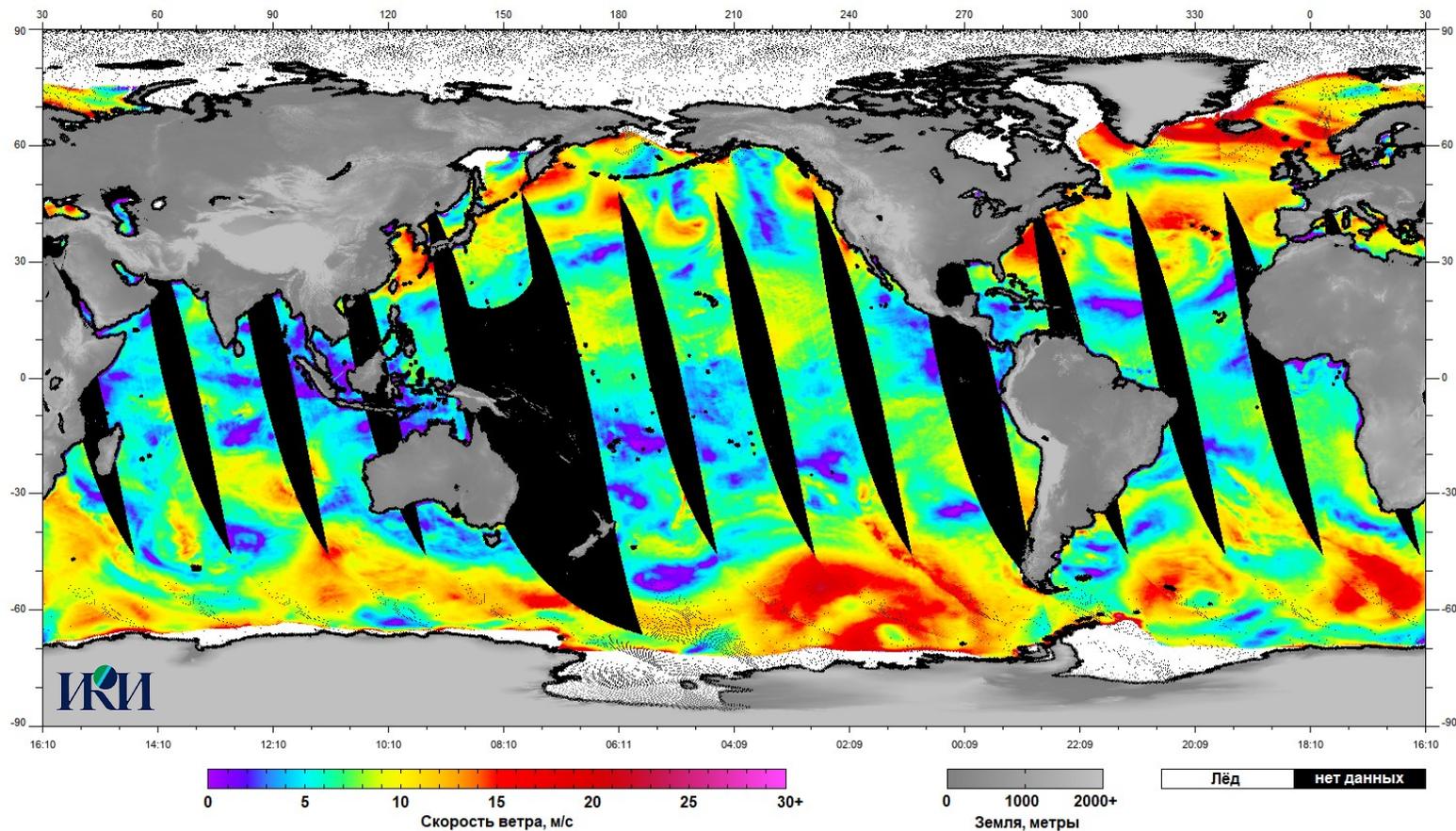
РЕЗУЛЬТАТЫ

МТВЗА-ГЯ Температура Поверхности Океана: 2020/04/01 Восходящие витки - Глобальное поле



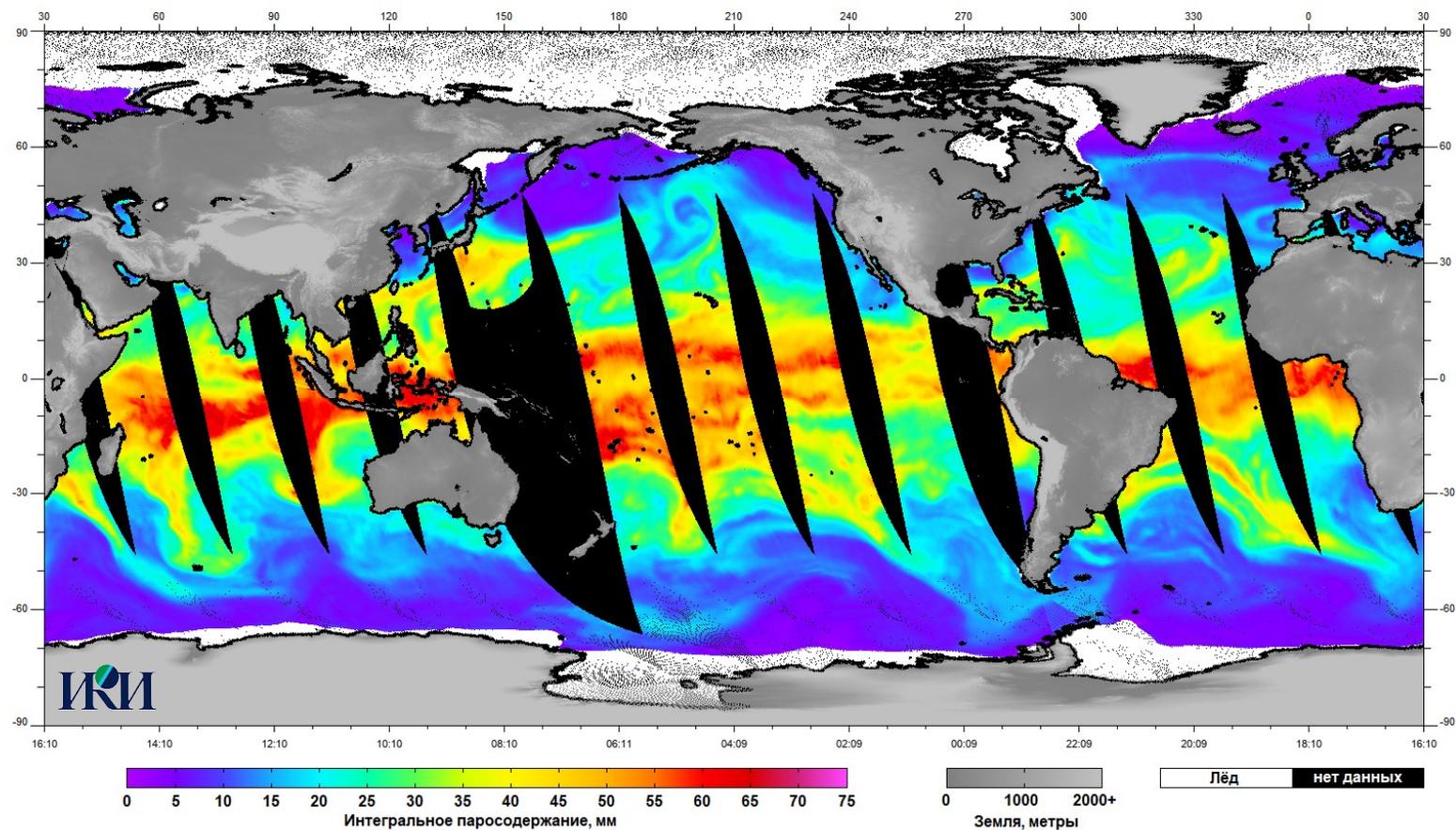
РЕЗУЛЬТАТЫ

МТВЗА-ГЯ Скорость приводного ветра: 2020/04/01 Восходящие витки - Глобальное поле

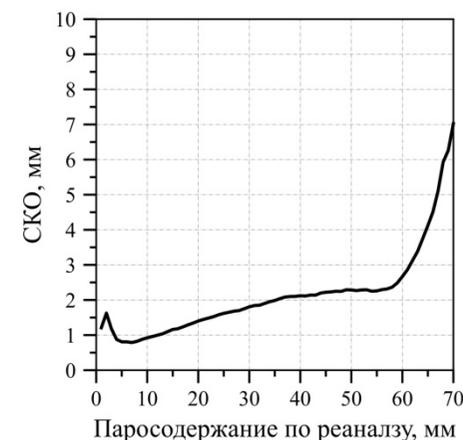
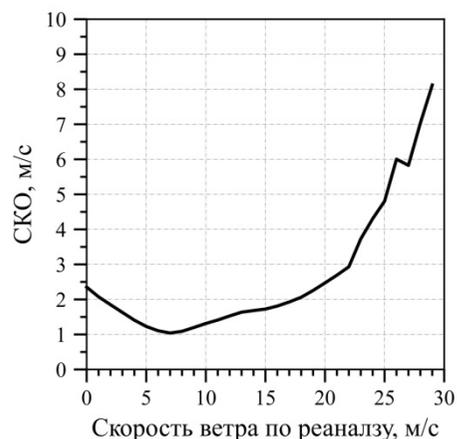
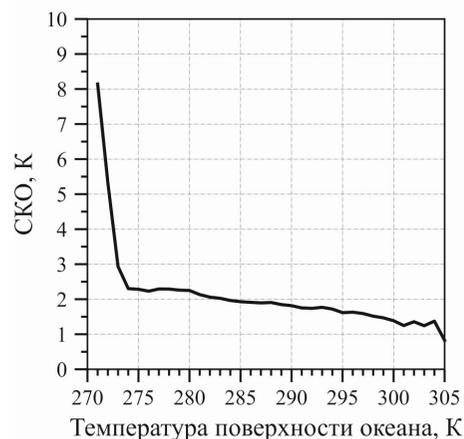
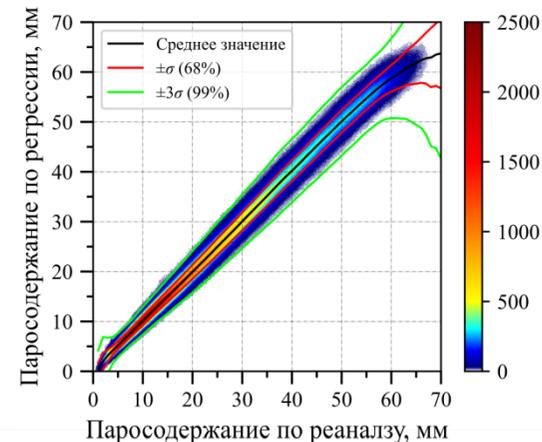
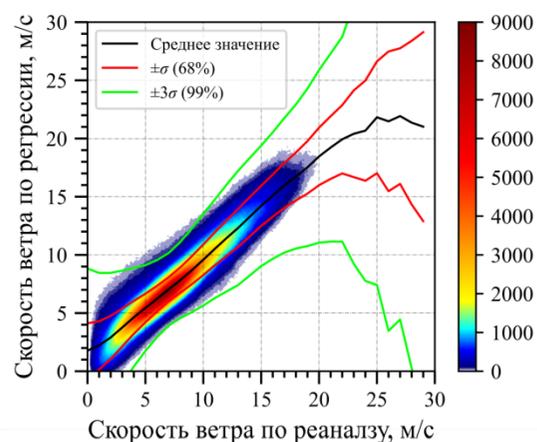
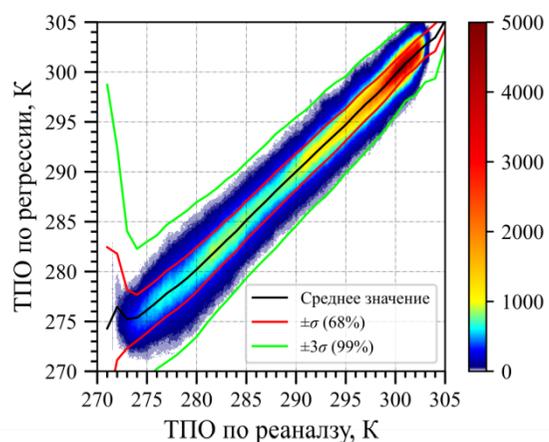


РЕЗУЛЬТАТЫ

МТВЗА-ГЯ Интегральное паросодержание: 2020/04/01 Восходящие витки - Глобальное поле



СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОПАРАМЕТРОВ



Цветом указано количество измерений попавших в диапазон:

$$\Delta = 0.1\text{К для ТПО}$$

$$\Delta = 0.1\text{м/с для скорости ветра}$$

$$\Delta = 0.1\text{мм для паросодержания}$$

ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОПАРАМЕТРОВ

Параметр	Диапазон параметра	r	σ (68% случаев)	3 σ (99% случаев)	σ для AMSR-3 (68% случаев)**
ТПО*	273 – 305 К	0,98	1,5 – 2,2 К	4,5 – 6,6 К	< 0.8 К
U_{10}	0 – 20 м/с	0,92	1 – 2,5 м/с	3 – 7,5 м/с	< 7 м/с
V	0 – 60 мм	0,99	< 2,6 мм	< 7,8мм	< 3 мм

Приведенные в работе оценки точности восстановления геопараметров относятся к случаю всепогодного алгоритма восстановления, в котором не выделяются отдельно области с высоким водозапасом облачности и интенсивными осадками.

*В случае ТПО для прибора МТВЗА-ГЯ точность хуже из-за отсутствия частоты в 6 ГГц, измерения на которой наиболее чувствительны к температуре поверхности.

**Планируемый к запуску прибор AMSR-3

(https://www.eorc.jaxa.jp/en/research/ra/2nd_ra_eo/material/2nd_EO-RA_guide_E.pdf).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о возможности восстановления геофизических параметров системы океан-атмосфера (ТПО, скорости приводного ветра и интегрального паросодержания) с достаточно высокой точностью, на уровне зарубежных аналогов.

Работы в направлении улучшения качества получаемых продуктов еще много, не решен еще огромный список вопросов.

Продолжаются работы над алгоритмами восстановления водозапаса облачности и интенсивности осадков, которые позволят разделять наблюдения на сцены и повысить точность восстановления других геопараметров в условиях свободной и малооблачной атмосферы.

Полученные на данном этапе продукты по интегральному паросодержанию можно найти в картографическом веб-интерфейсе системы Vega-Science (<http://sci-vega.ru/>).

Сазонов Д.С. Алгоритм восстановления температуры поверхности океана, скорости приводного ветра и интегрального паросодержания по данным МТВЗА-ГЯ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (на рецензии).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



17