

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СПЛОЧЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА SMOS

*Катамадзе Д.Р.<sup>1</sup>, Тихонов В.В.<sup>2,3,4</sup>, Алексеева Т.А.<sup>4,2</sup>,*

*Афанасьева Е.В.<sup>4,2</sup>, Соколова Ю.В.<sup>4,2</sup>, Хвостов И.В.<sup>3</sup>, Романов А.Н.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет космических исследований,  
Москва, Россия

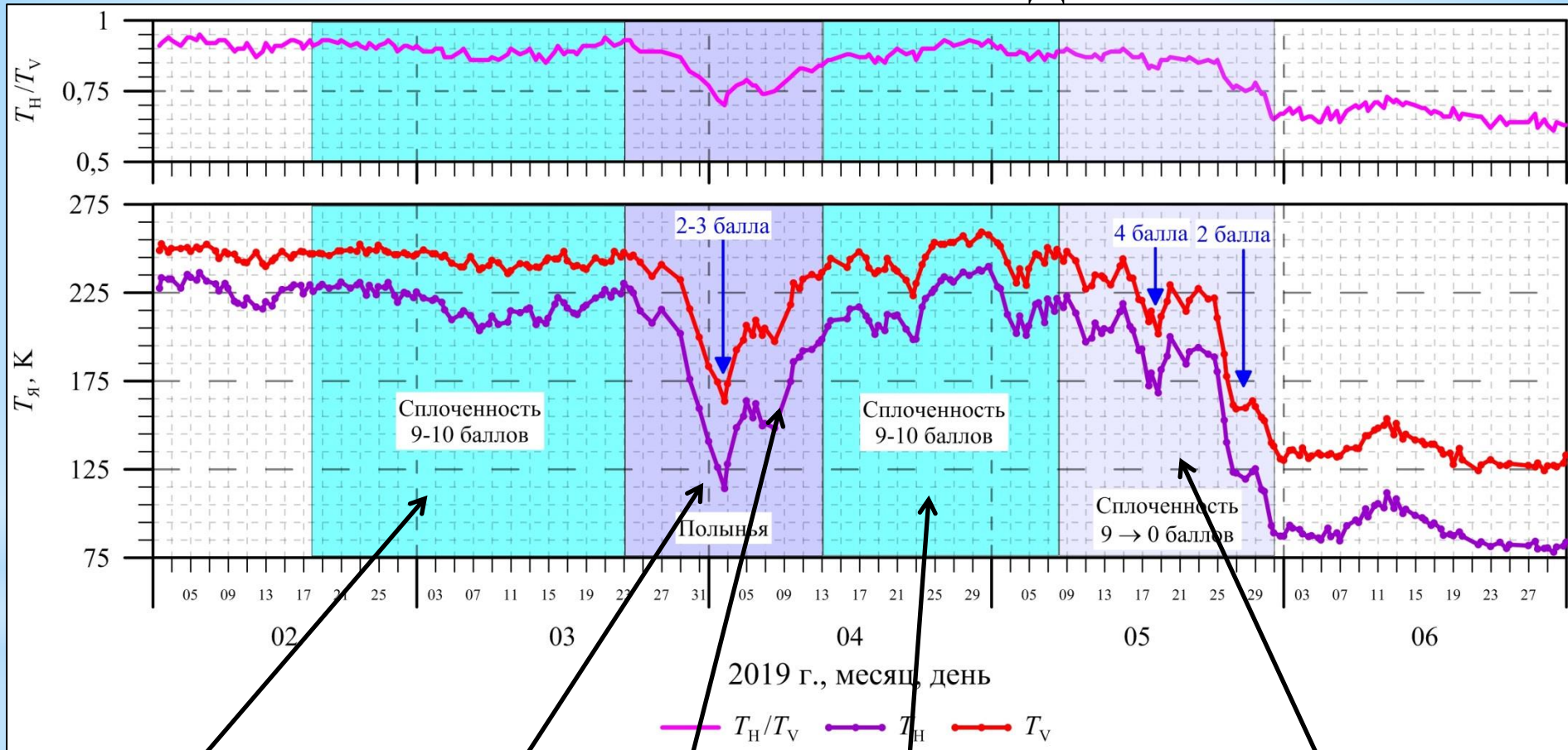
<sup>2</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

<sup>4</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия



# СПЛОЧЕННОСТЬ ЛЬДА



однолетние льды

$T_H$ : 204 К – 233 К

$T_V$ : 235 К – 254 К

$T_H/T_V$ : 0,85 – 0,95

ПОЛЫНЬЯ

$T_H \rightarrow 115$  К

$T_V \rightarrow 164$  К

$T_H/T_V \rightarrow 0,7$

однолетние льды, нилас

$T_H$ : 196 К – 240 К

$T_V$ : 224 К – 260 К

$T_H/T_V$ : 0,85 – 0,94

процесс таяния

$T_H$ : 225 К  $\rightarrow$  90 К

$T_V$ : 250 К  $\rightarrow$  135 К

$T_H/T_V$ : 0,9  $\rightarrow$  0,65

$T_H/T_V \rightarrow 0,7$

закрытие полыньи

начальные формы льда

однолетние льды с севера

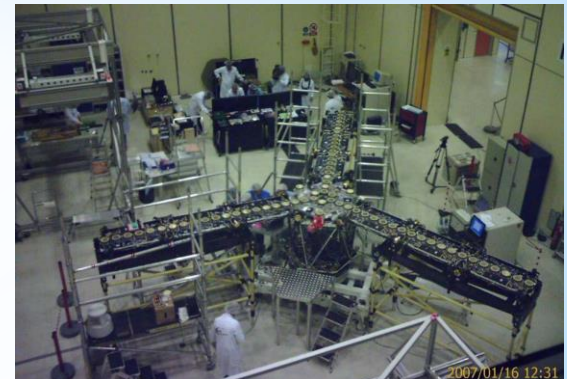
# ДАНИЕ

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) – 2009 — наст. вр.  
MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis)



Продукт SMOS L1C

$$f = 1.4 \text{ (H, V) ГГц}$$
$$\theta = 42.5^\circ$$



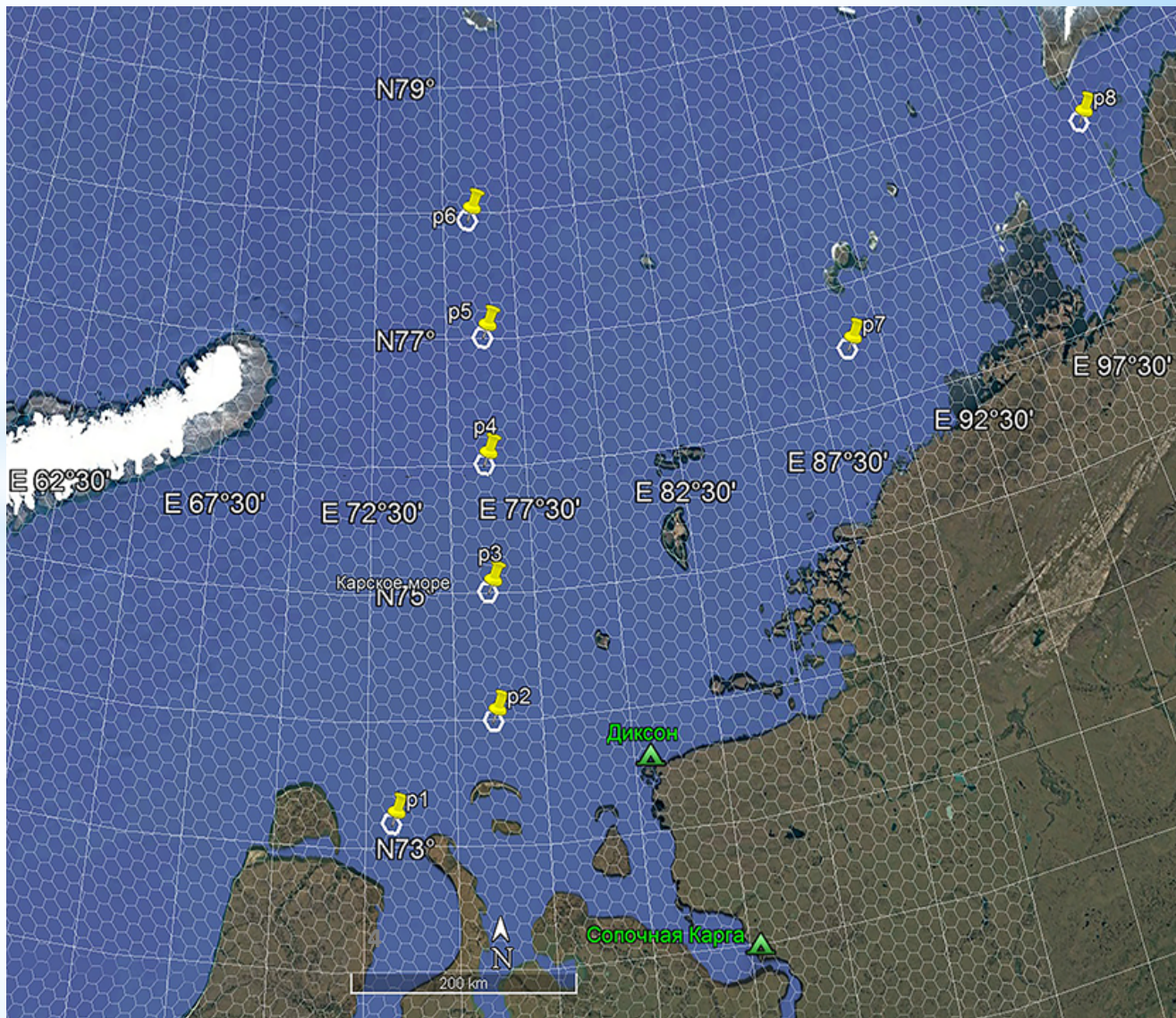


# РЕГИОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Карское море  
8 ячеек продукта SMOS L1C



Номер ячейки	Широта, ° с.ш.	Долгота, ° в.д.
P1	73,205	73,193
P2	74,007	76,092
P3	75,017	76,081
P4	76,021	76,144
P5	77,016	76,269
P6	77,948	75,902
P7	76,502	88,757
P8	77,583	99,751

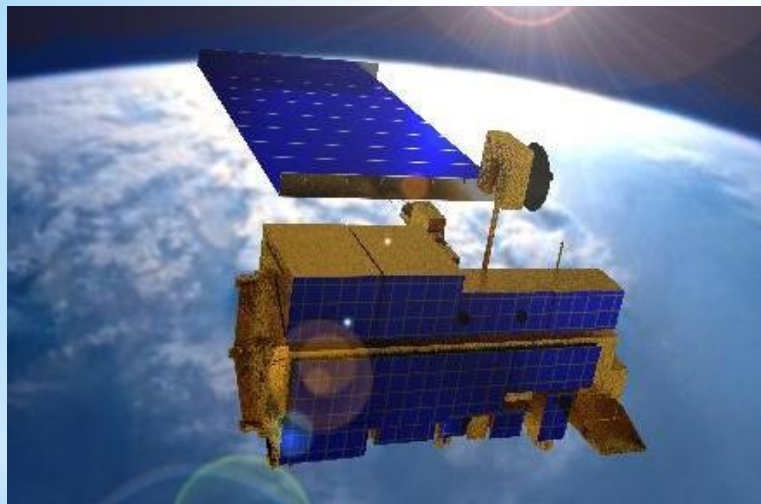




# ДААННЫЕ ПО СПЛОЧЕННОСТИ ЛЬДА

## ААНИИ

Terra, Aqua (NASA)



### MODIS

Moderate Resolution  
Imaging Spectroradiometer

Разрешение – 250-500 м

Видимый, ИК - диапазоны

Suomi-NPP (NASA/NOAA)



### VIIRS

Visible Infrared Imaging  
Radiometer Suite

Разрешение – 375-750 м

Видимый, ИК - диапазоны

Sentinel-1A (ESA)



### SAR

Synthetic Aperture Radar

Разрешение – 300 м

C-band (5,405 ГГц)

# МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

Совокупность методов искусственного интеллекта, с помощью которых можно создавать самообучающиеся компьютерные системы. Для таких систем не прописываются конкретные алгоритмы решения задач, а предоставляются подготовленные данные и описываются критерии успешного решения, по которым учатся компьютерные системы.

Используются:

- средства математической статистики,
- численные методы,
- методы математического анализа,
- методы оптимизации,
- методы теории вероятностей,
- методы теории графов.

Модели  
машинного  
обучения

Атрибуты -  $x$

$T_h$

$T_v$

$\frac{T_h}{T_v}$

$T_v$

Модели машинного обучения

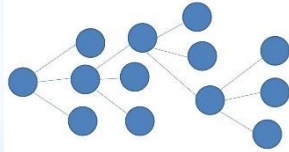
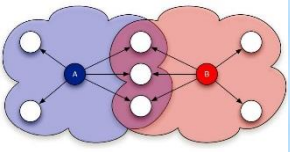
Целевая переменная -  $y$

Сплочённость  
ледяного покрова

$$Pr(1.4) = \frac{T_v - T_h}{T_v + T_h}$$

# МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

## Модели машинного обучения:

- Linear Regression,
  - Ridge Regression,
  - Lasso Regression,
  - ElasticNet,
  - DecisionTreeRegressor,
  - RandomForestRegressor,
  - XGBoost,
  - KNeighborsRegressor
- класс линейных регрессионных методов
- $$y = kx + b$$
- класс моделей, основанных на методе  
деревя решений
- 
- метод k-ближайших соседей
- 

Эффективность моделей



Метрики качества



Коэффициент детерминации ( $R^2$ )

Root Mean Squared Error (RMSE)  
Кв. к. из среднеквадратичной ошибки

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Средняя абсолютная процентная ошибка

# МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

Th, К	Tv, К	Th/Tv	Pr(1.4)= =(Tv-Th)/(Tv+Th)	Общая сплоченность льда
118,13	159,19	0,74	-0,1480	4,0
125,24	162,96	0,77	-0,1309	5,0
125,64	168,13	0,75	-0,1447	6,0
104,80	152,20	0,69	-0,1844	2,0
145,14	177,04	0,82	-0,0990	5,0
150,89	184,69	0,82	-0,1007	8,0
121,60	158,62	0,77	-0,1321	6,5
97,10	139,90	0,69	-0,1806	6,0
103,81	148,50	0,70	-0,1771	3,5
113,24	150,70	0,75	-0,1419	5,0
113,46	151,34	0,75	-0,1430	7,0
105,03	147,87	0,71	-0,1694	7,0
97,69	139,78	0,70	-0,1772	2,5
96,78	141,43	0,68	-0,1874	2,0
109,95	151,24	0,73	-0,1581	4,0
103,29	142,82	0,72	-0,1606	4,0
82,50	124,08	0,66	-0,2013	0,2
82,55	125,36	0,66	-0,2059	0,2
77,01	124,00	0,62	-0,2338	0,5
85,50	129,21	0,66	-0,2036	1,0
127,63	172,85	0,74	-0,1505	10,0
148,86	196,55	0,76	-0,1381	10,0
112,46	158,32	0,71	-0,1693	0,5
180,91	221,67	0,82	-0,1013	10,0
189,06	230,34	0,82	-0,0984	10,0
179,26	217,24	0,83	-0,0958	8,0

Обучение  
2022 год

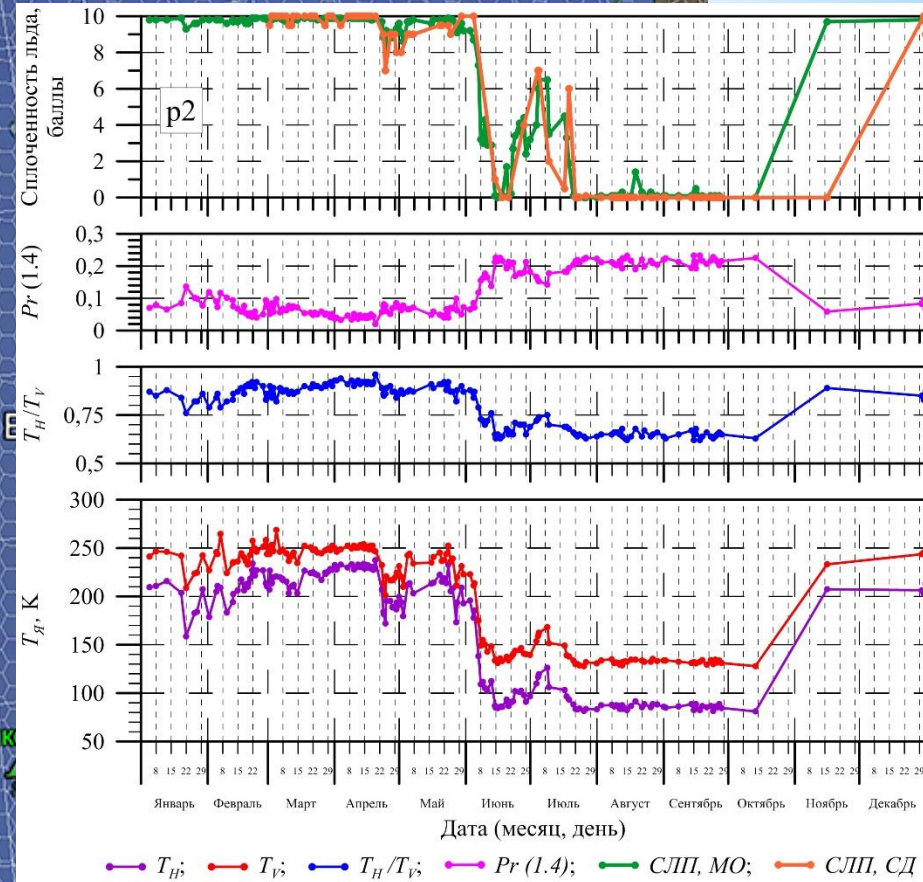
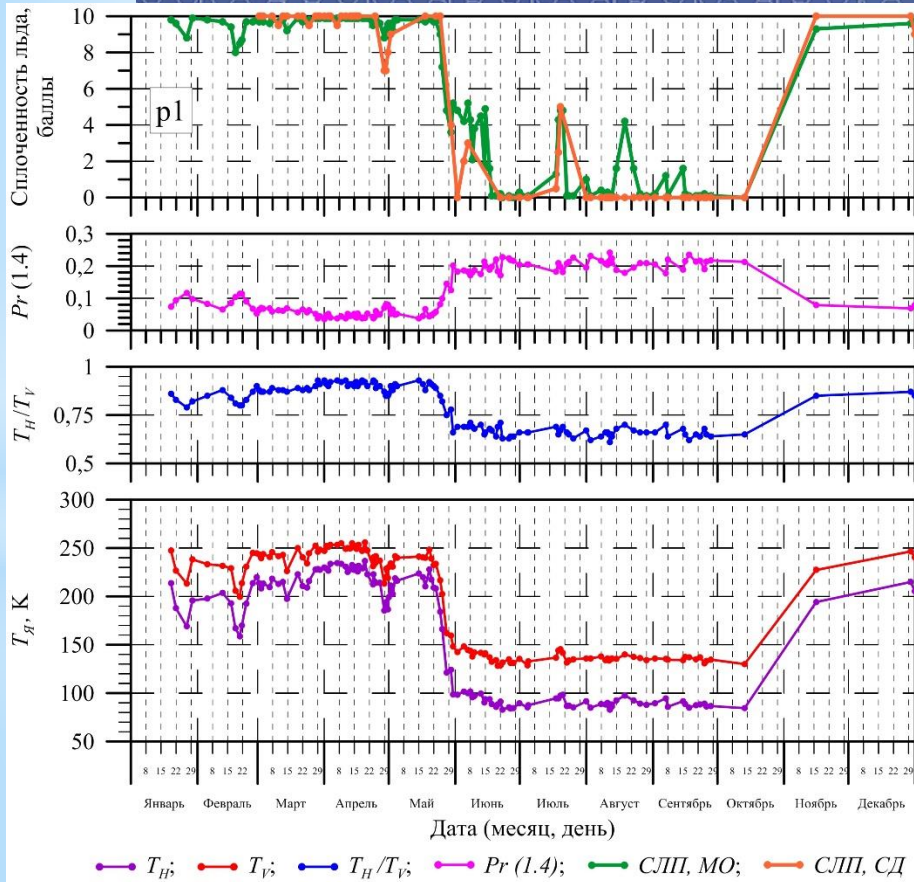
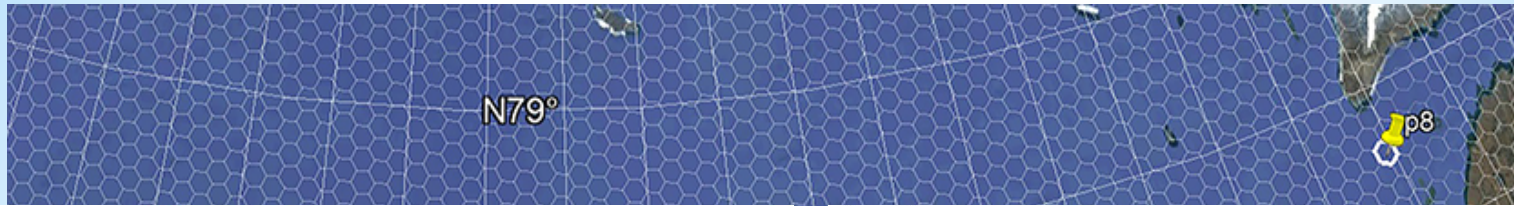
Проверка  
2023 год

Метрики качества

XGBoost

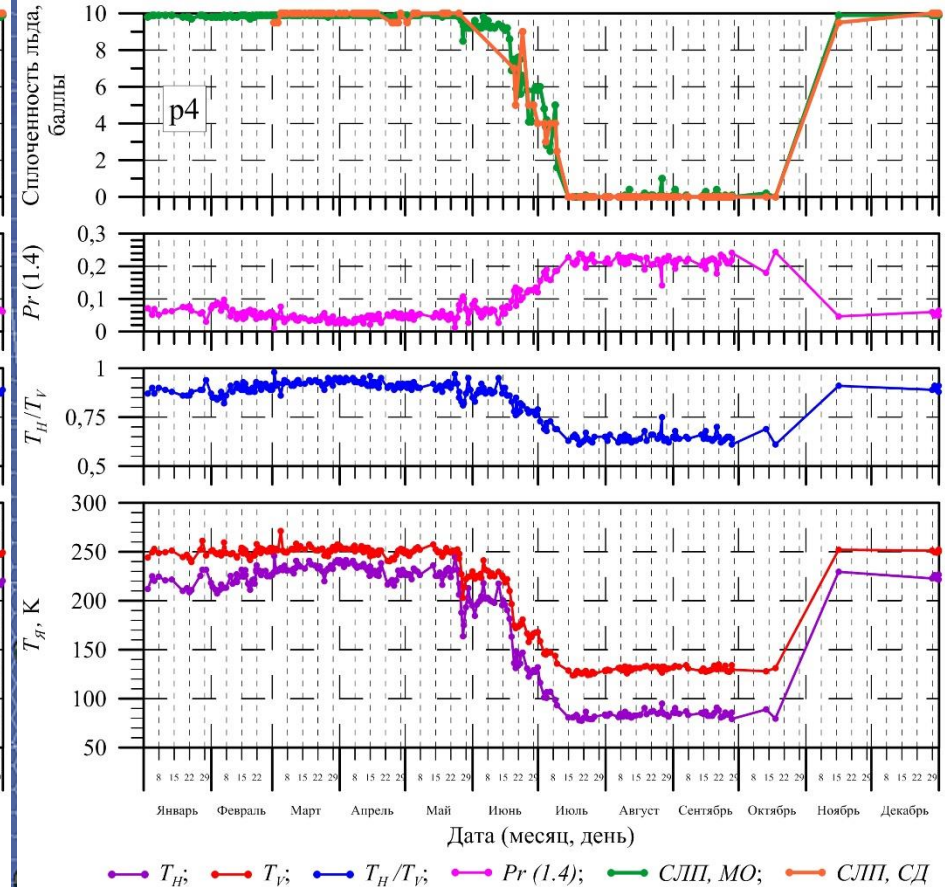
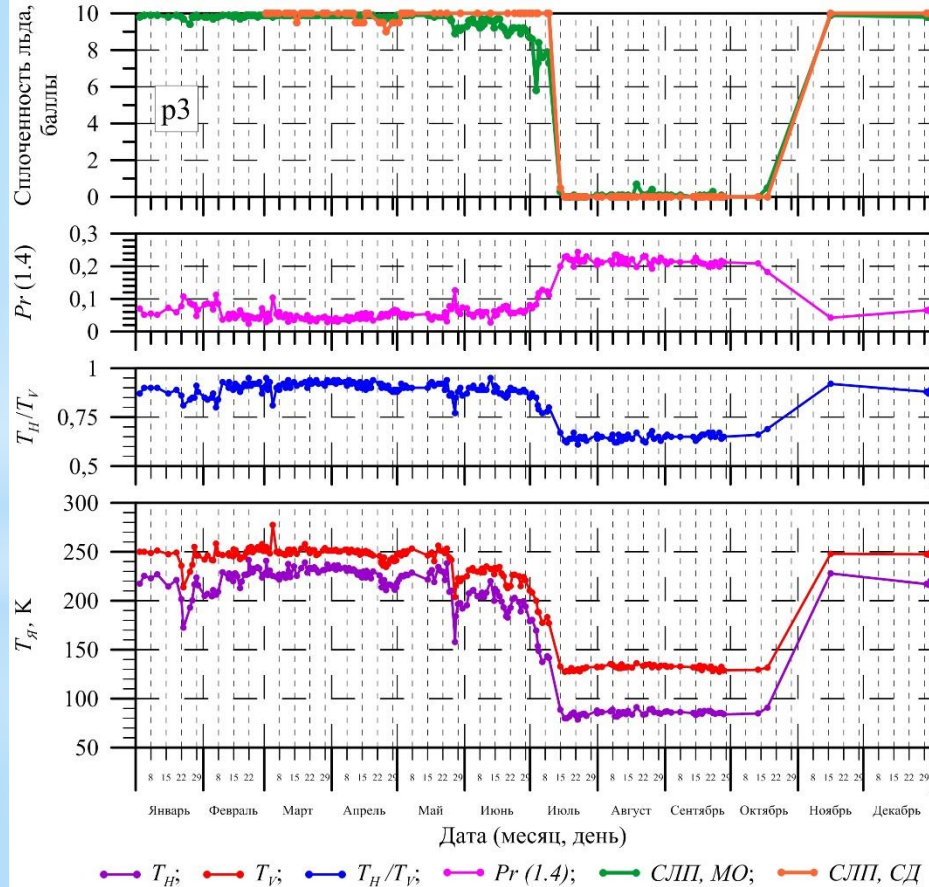
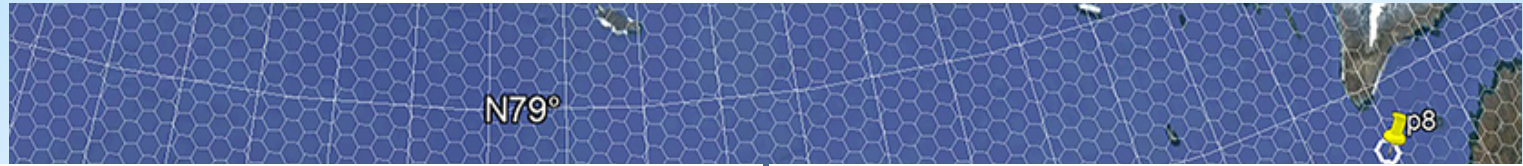


# РЕЗУЛЬТАТ



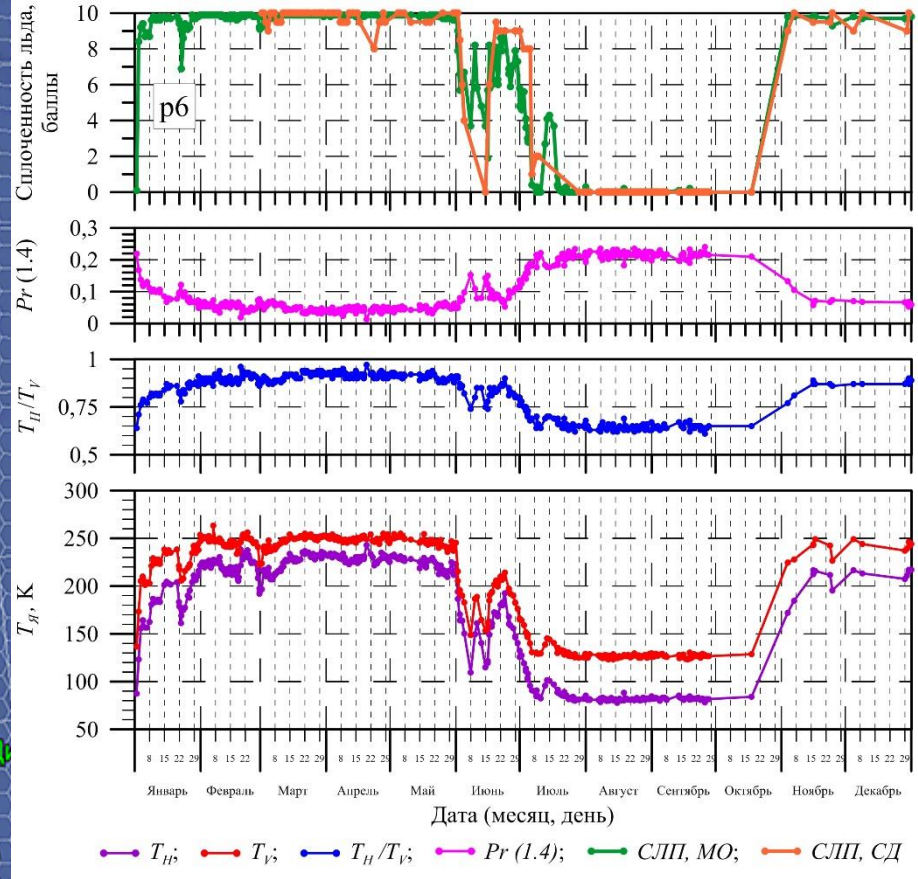
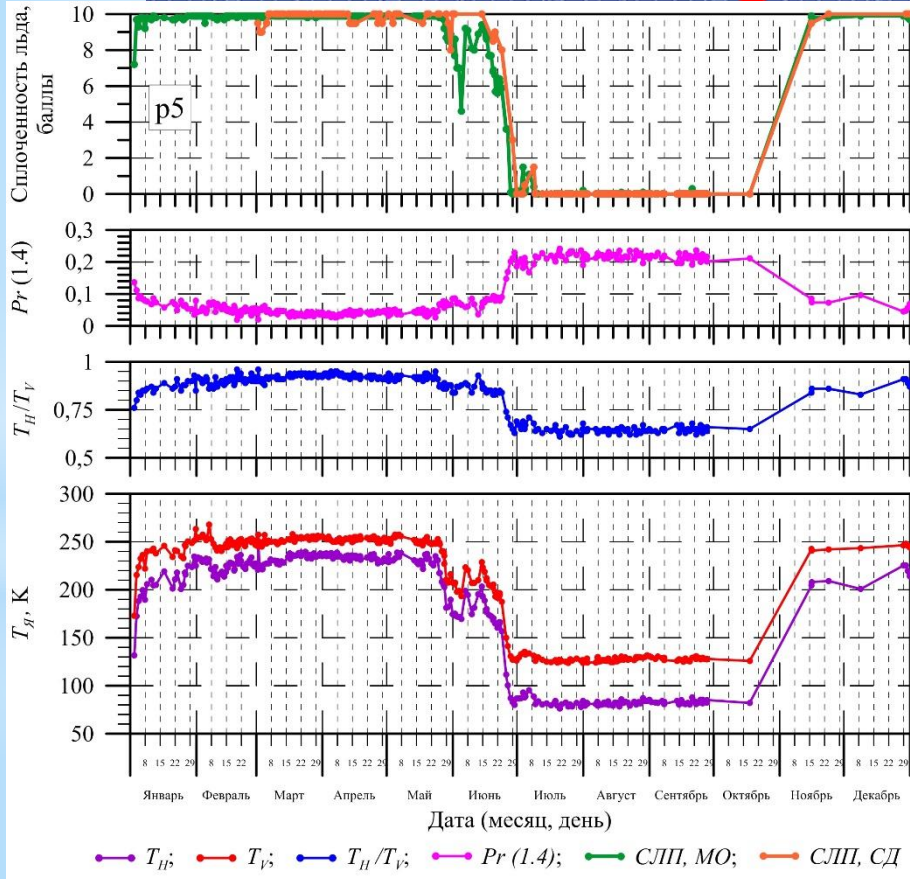
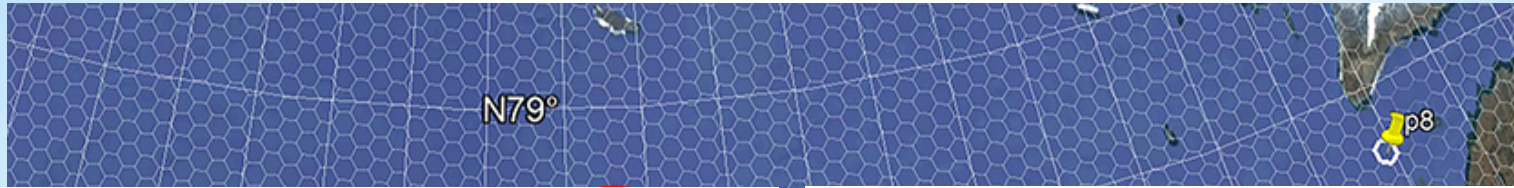


# РЕЗУЛЬТАТ



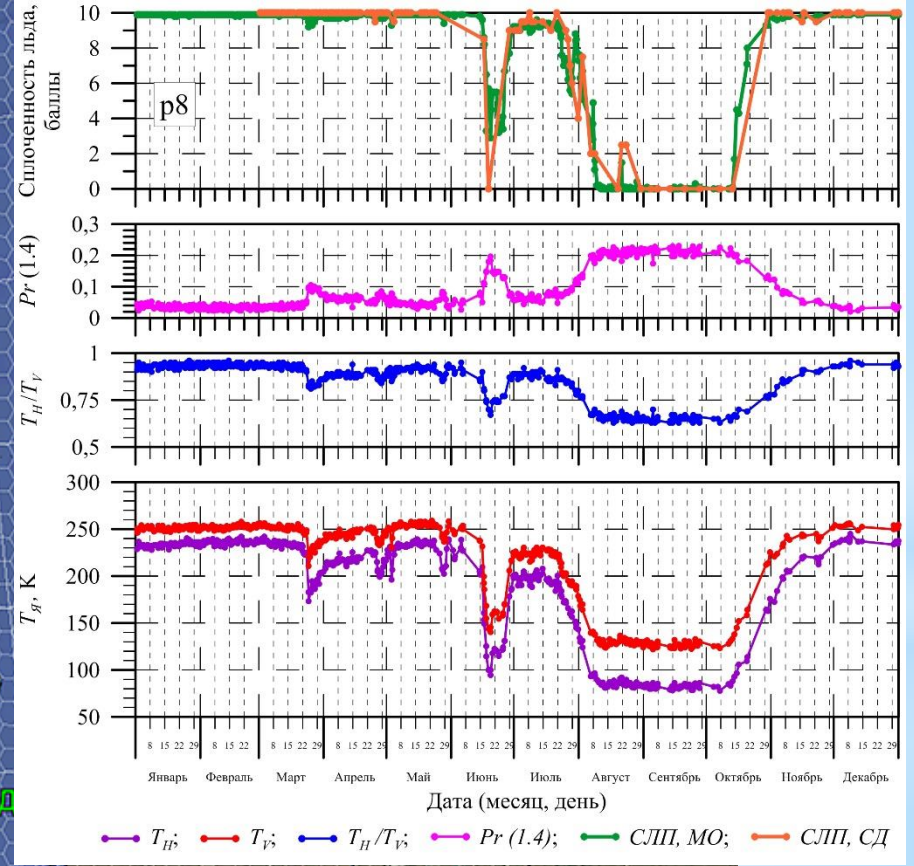
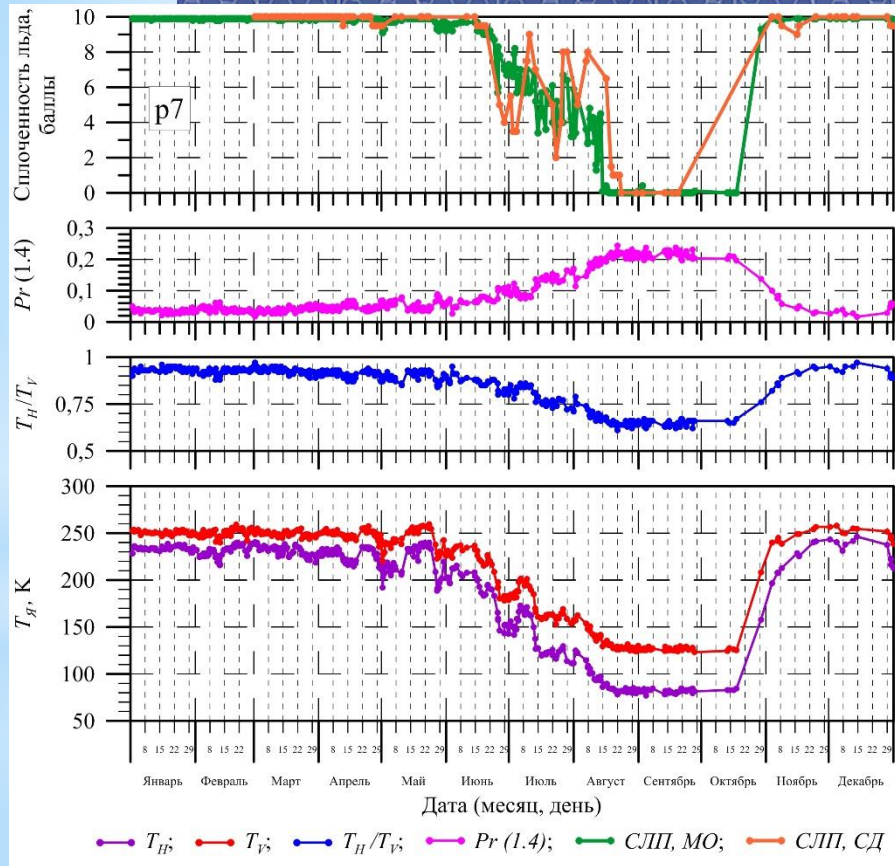


# РЕЗУЛЬТАТ





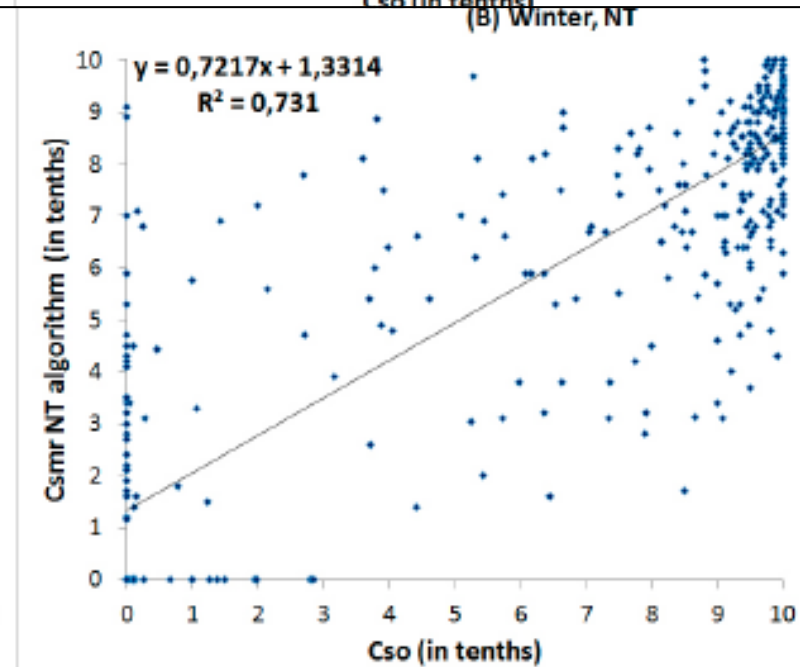
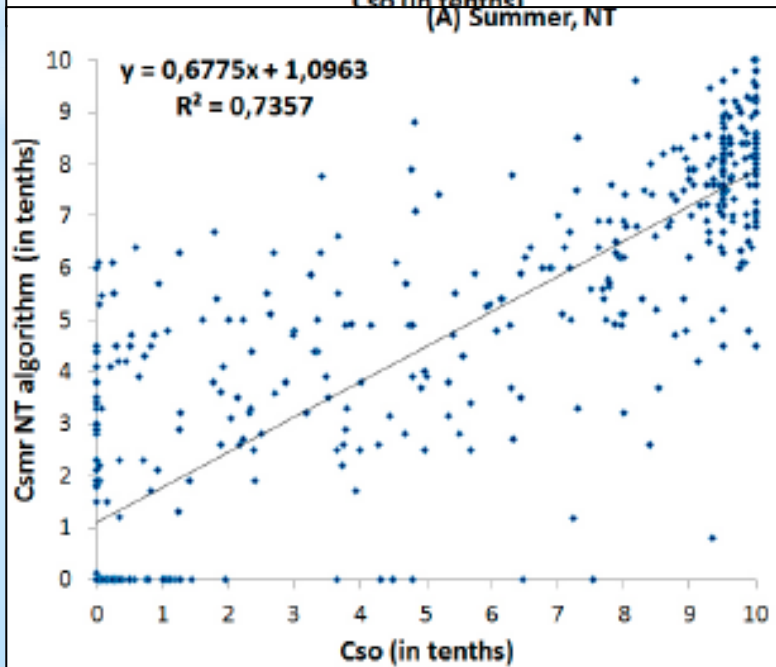
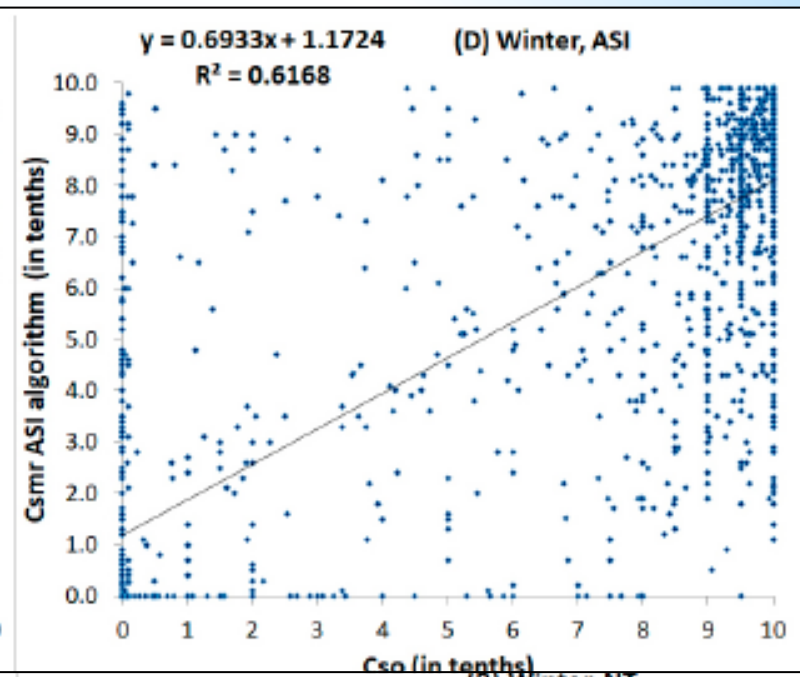
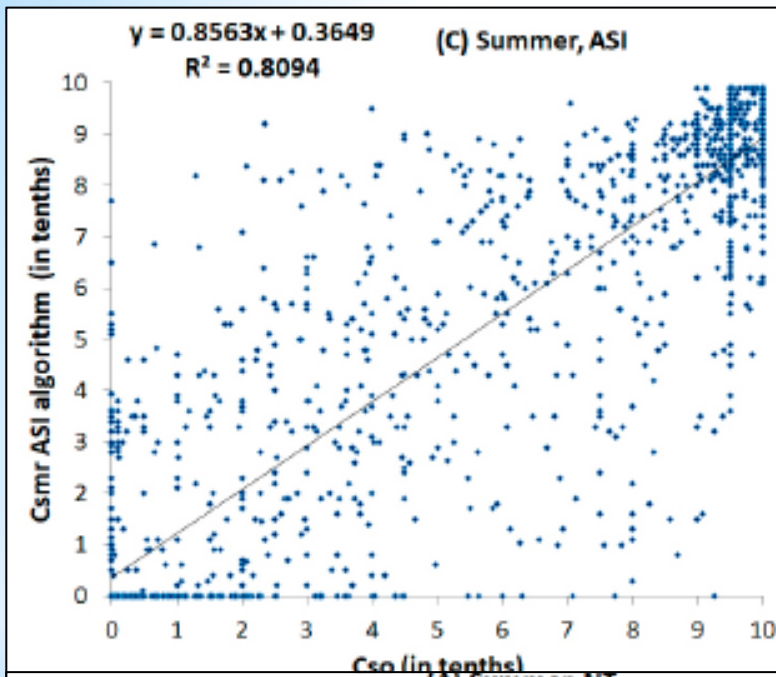
# РЕЗУЛЬТАТ





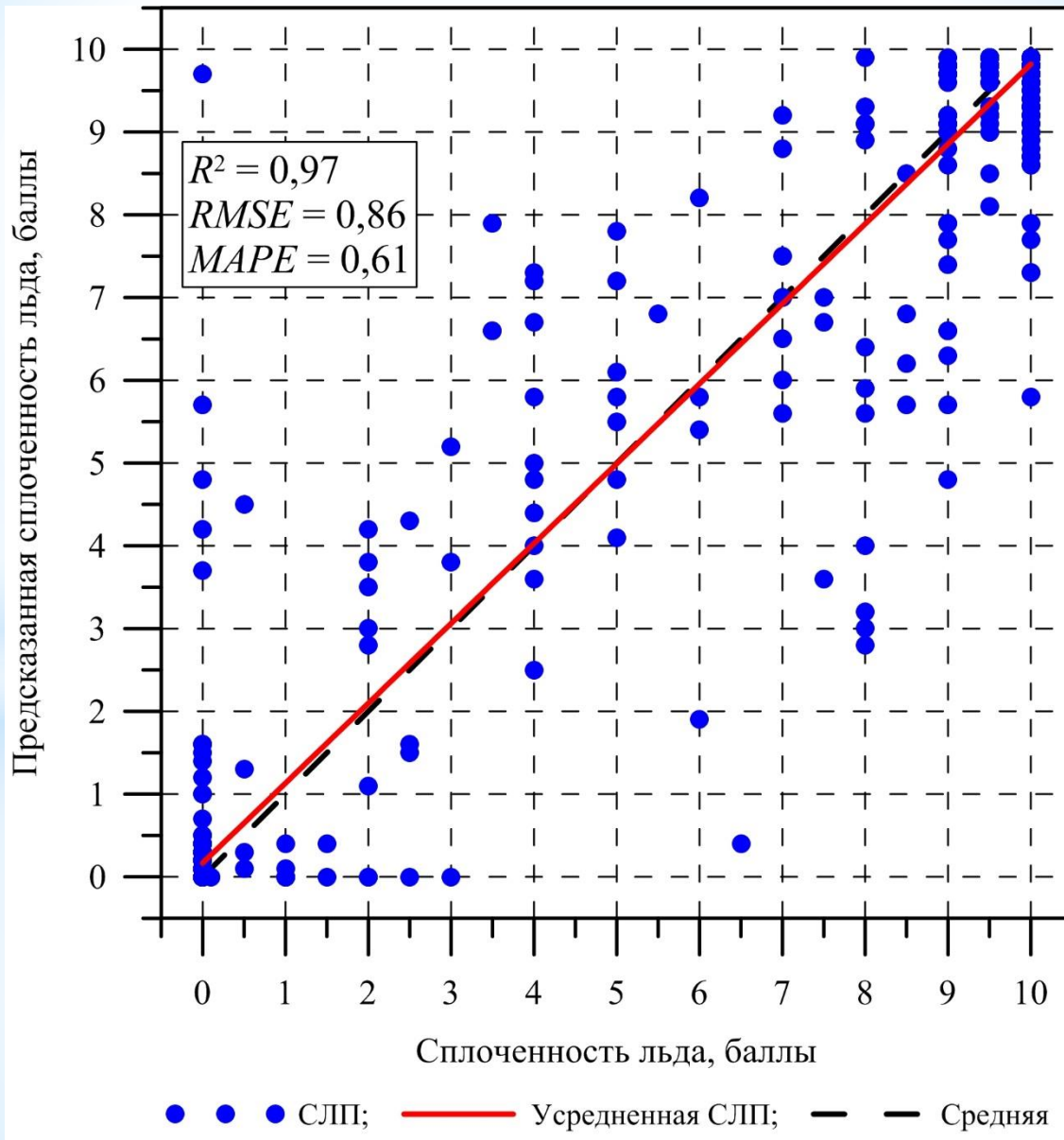


# Зима РЕЗУЛЬТАТ Лето





# РЕЗУЛЬТАТ



# ПЛАНЫ

- Анализ результатов.
- Сравнение с другими алгоритмами.
- Анализ результатов по 2024 году.
- MIRAS → AMSR2, SSMIS, МТВЗА-ГЯ → Алгоритм

## Публикации:

1. Тихонов В.В., Алексеева Т. А., Афанасьева Е. В., Соколова Ю. В., Хвостов И. В., Романов А. Н. О возможности определения сплоченности ледяного покрова арктических морей по данным спутника SMOS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 6. С. 329-325. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-329-335.

2. Готовится ...



Спасибо!

Thanks!

