

# Использование данных спутниковых микроволновых радиометров для определения дат замерзания и очищения ото льда внутренних водоёмов на примере Верхнетуломского водохранилища Мурманской области

Заболотских Е.В.<sup>1/2</sup>, Ярусов К.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Лаборатория спутниковой океанографии РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

Лазарева И.М.<sup>2</sup>, Ляш О.И.<sup>2</sup>, Шелегов Г.С.<sup>2/3</sup>

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет», Мурманск, Россия

<sup>3</sup>Главное управление МЧС РФ по Мурманской области, Мурманск, Россия

# Цель работы

в рамках проекта РНФ 24-17-20021 «Создание регионального портала мониторинга опасных явлений природного и антропогенного происхождения Мурманской области на основе данных спутникового дистанционного зондирования и беспилотных авиационных систем»

- Расширение возможностей использования данных спутниковых микроволновых радиометров для изучения характеристик внутренних водоемов;
- Получение инструмента для определения сроков ледовых явлений на внутренних водоемах, основанного на использовании регулярных доступных данных;

# Верхнетуломское водохранилище

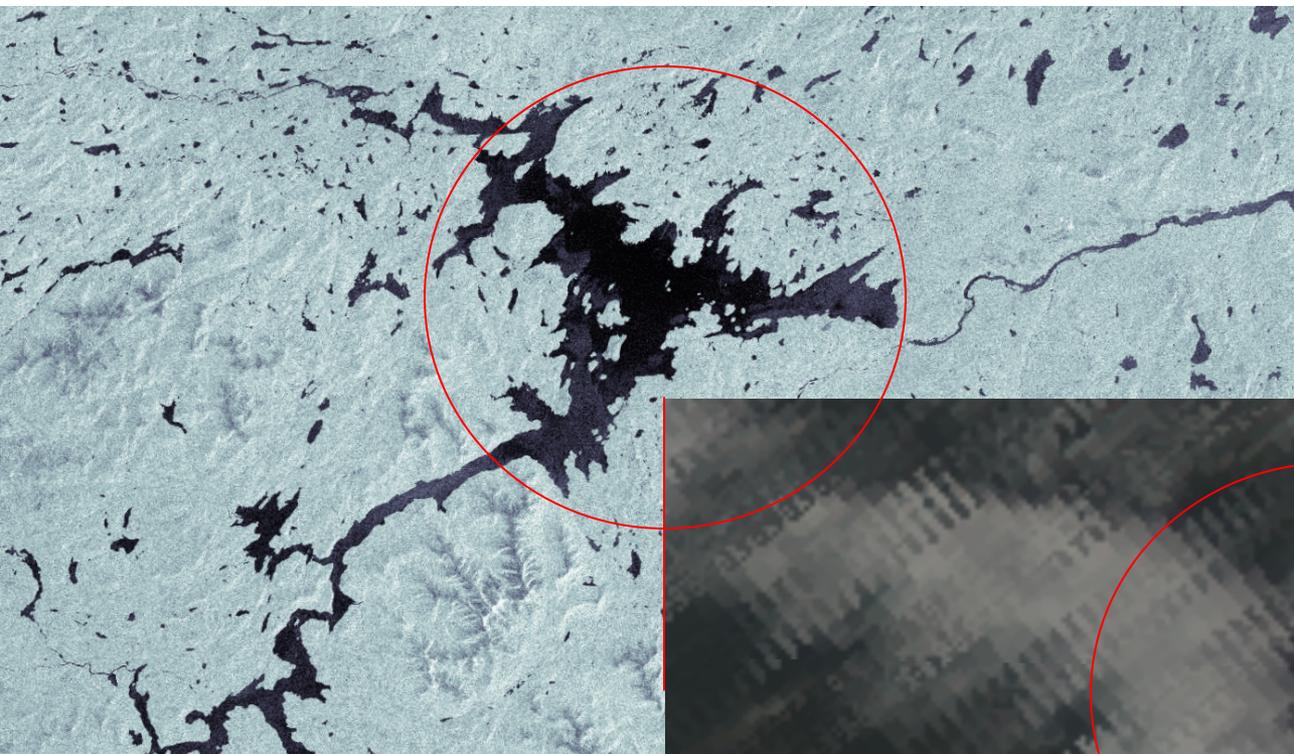


- Одно из наиболее крупных водохранилищ Мурманской области. Находится на реке Тулеме и включает в себя небольшое озеро Нотозеро. Площадь водного зеркала 745 км<sup>2</sup>;
- Является регулирующим водохранилищем каскада Туломских гидроэлектростанций;
- Было заполнено в 1965 г., и его воды помогли наладить снабжение близлежащих населённых пунктов;
- Вокруг водохранилища нет благоустроенных дорог.

# Актуальность

- Единственная и труднодоступная метеостанция «Ниванкюль» расположена на левом берегу Верхнетуломского водохранилища;
- Информация с этой станции каждые три часа уходит на ГМС Падун, расположенную в посёлке Верхнетуломский, а оттуда в Мурманское УГМС;
- Данные ГМС «Ниванкюль» об уровне и температуре воды и ледовых явлениях используются для планирования работы Кольской энергетической системы;
- Возможность использования данных дистанционного зондирования для обеспечения Мурманского УГМС информацией о ледовых явлениях на водохранилище является насущной необходимостью и существенно менее затратной альтернативой использованию данных ГМС;

# Дистанционное зондирование внутренних водоёмов



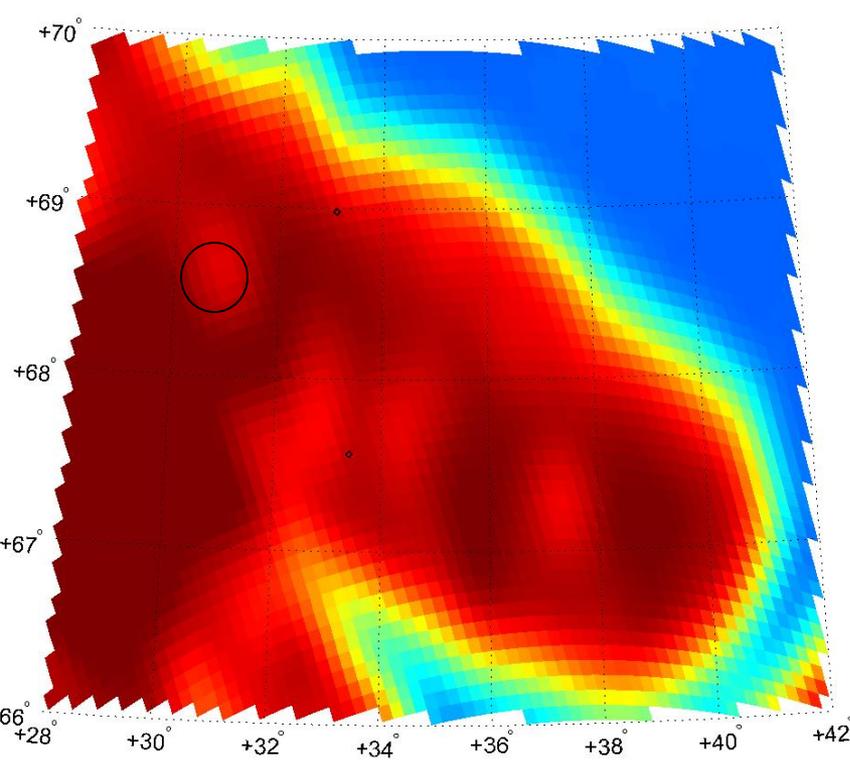
MODIS 9 июня 2024



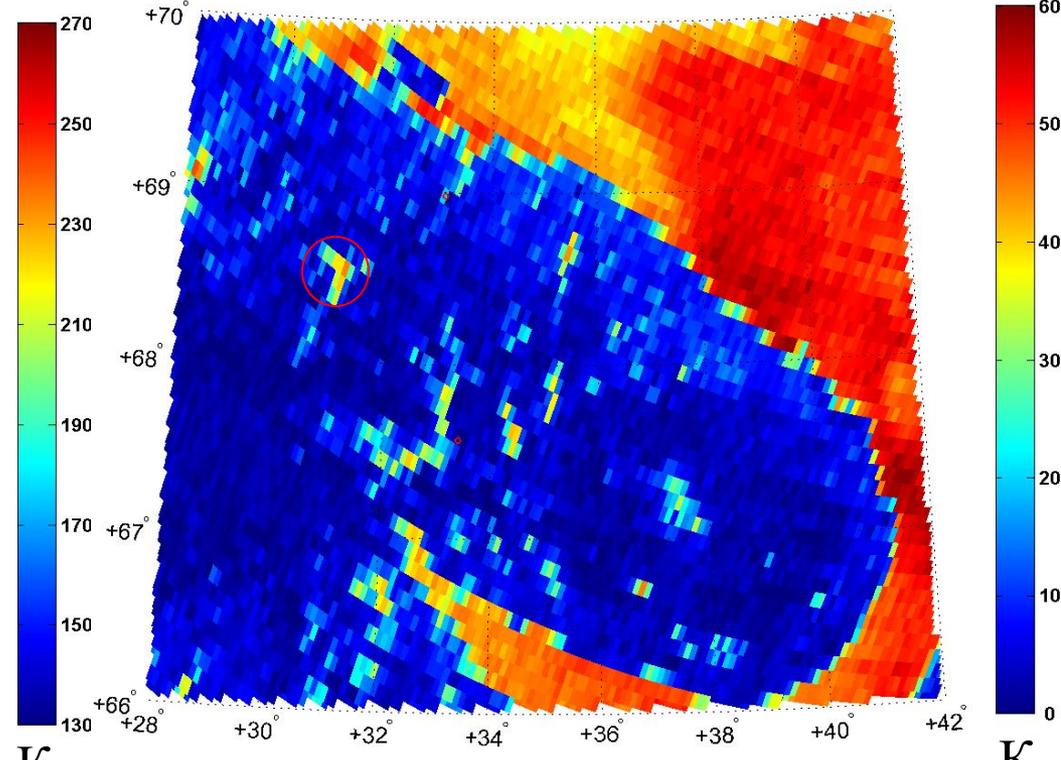
Sentinel-1 8 июня 2024

# Дистанционные измерения в микроволновом диапазоне

15 июня 2024



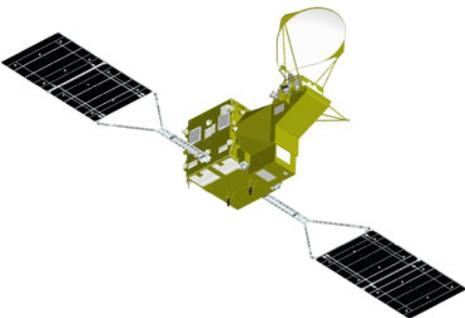
Тя, 6.9 ГГц В



PD, 89 ГГц

GCOM-W1 AMSR2

# Advanced Scanning Microwave Radiometer 2



18 Мая 2012 Япония запустила новый спутниковый сканирующий многоканальный микроволновый радиометр с самой большой в мире вращающейся антенной - Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR2) на борту спутника Global Change Observation Mission – Water (GCOM-W1 “Shizuku”)

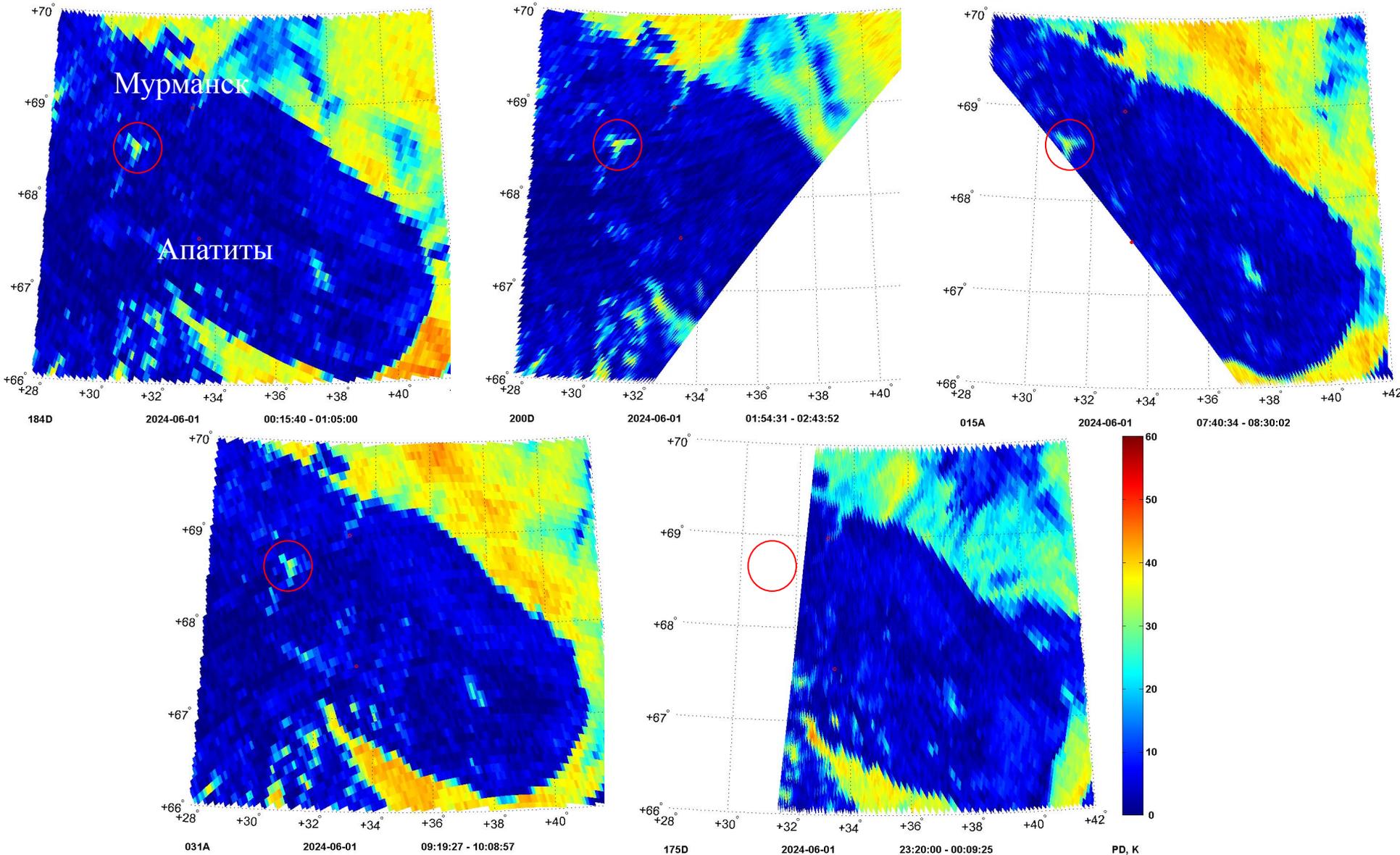
Дополнительные каналы

Лучше, чем у AMSR-E

Характеристики каналов				
Центр. частота. [ГГц]	Полоса [МГц]	Поляр.	Угл. разреш. [гр.] (Простр. разреш. [км])	Частота сканир. [км]
6.925 7.3	350	В & Г	1.8 (35 × 61)	10
10.65	100		1.2 (24 × 41)	
18.7	200		0.65 (13 × 22)	
23.8	400		0.75 (15 × 26)	
36.5	1000		0.35 (7 × 12)	
89.0(A&B)	3000		0.15 (3 × 5)	5

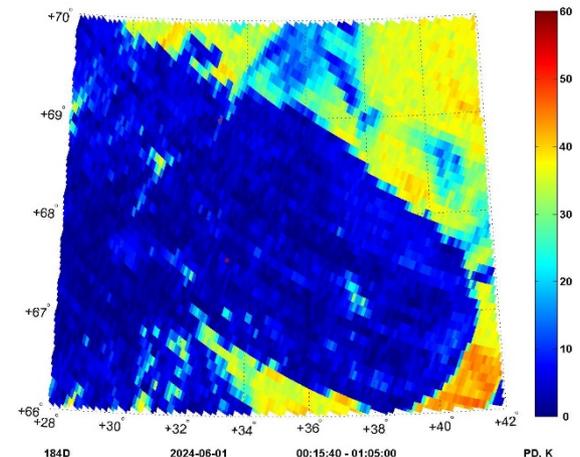
аналогично AMSR-E

# Частота измерений AMSR2 над водохранилищем 4-5 покрытий за сутки



# Особенности излучательных характеристик льда и открытой воды на частотах вблизи 90 ГГц

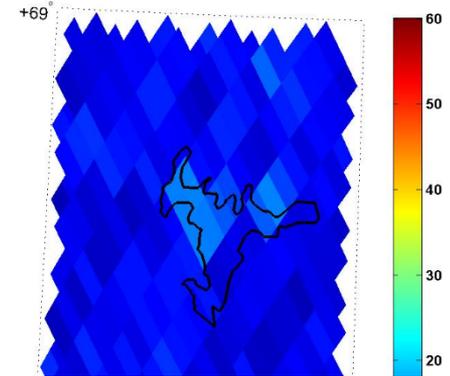
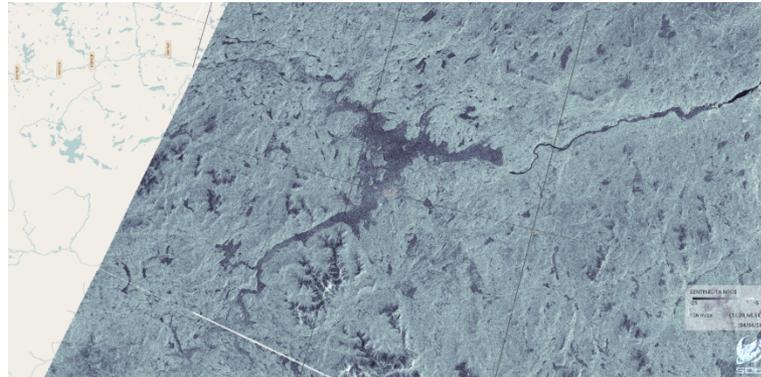
- Для морских условий в общем случае характерны низкие значения поляризованности излучения льда и высокие значения поляризованности излучения воды на частотах вблизи 90 ГГц ;
- Основные различия микроволновых свойств льда и воды для диапазона частот вблизи 90 ГГц, обусловленные различиями их диэлектрических свойств, остаются справедливыми и для пресных льда и воды;
- Поляризованность излучения системы подстилающая поверхность – атмосфера уменьшается с ростом параметров влагосодержания атмосферы (и скорости ветра над водой)
- Изменчивость PD над водой ( $PD_W$ ) определяется атмосферными условиями, а изменчивость PD над льдом ( $PD_I$ ) – структурными образованиями на поверхности льда;



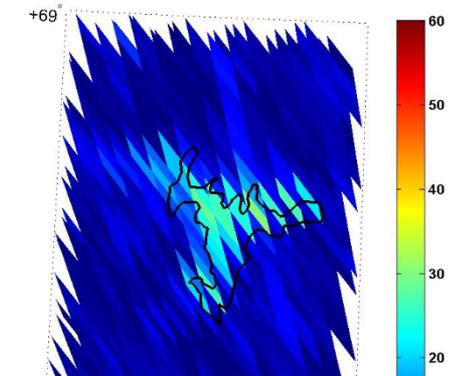
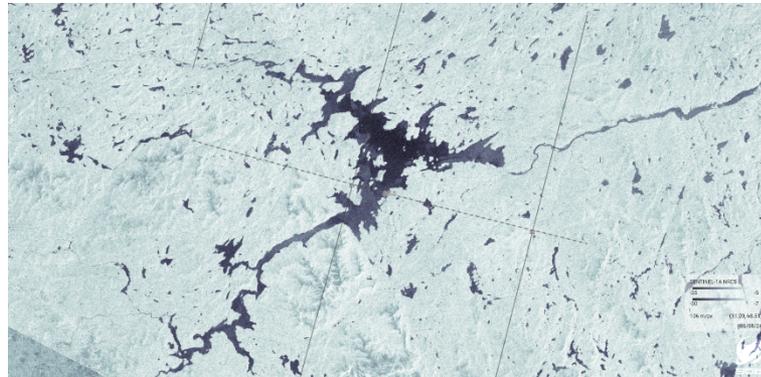
Sentinel-1 A

AMSR2 PD, 89 ГГц

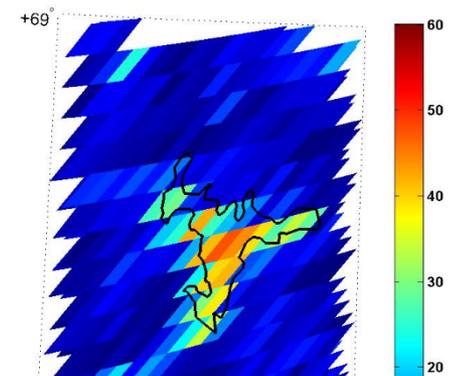
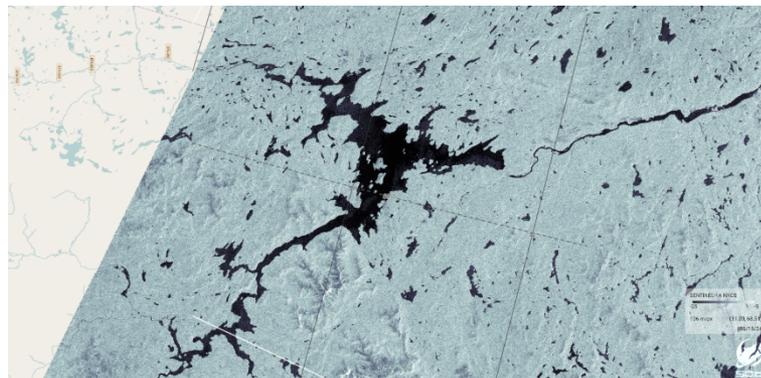
4 апреля 2024



8 июня 2024

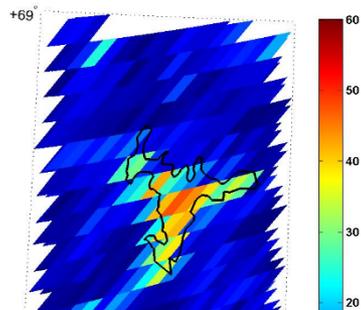
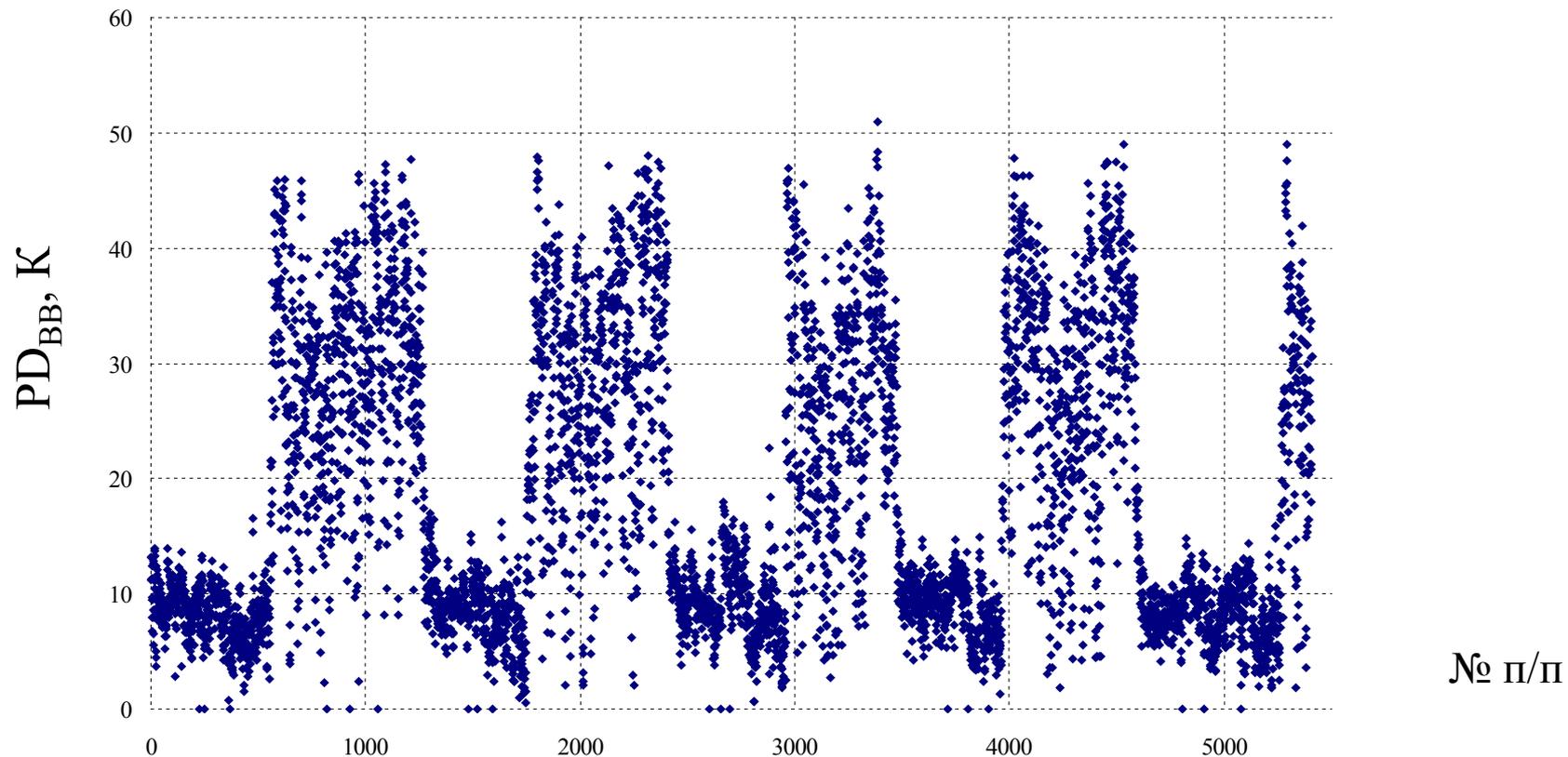


15 июня 2024



К

# Средние значения измерений AMSR2 PD над Верхнетуломским водохранилищем за период с 1 января 2020 по 9 июля 2024 г.



$$PD_{BB} = \frac{\sum_{i=1}^N PD_i}{N}$$

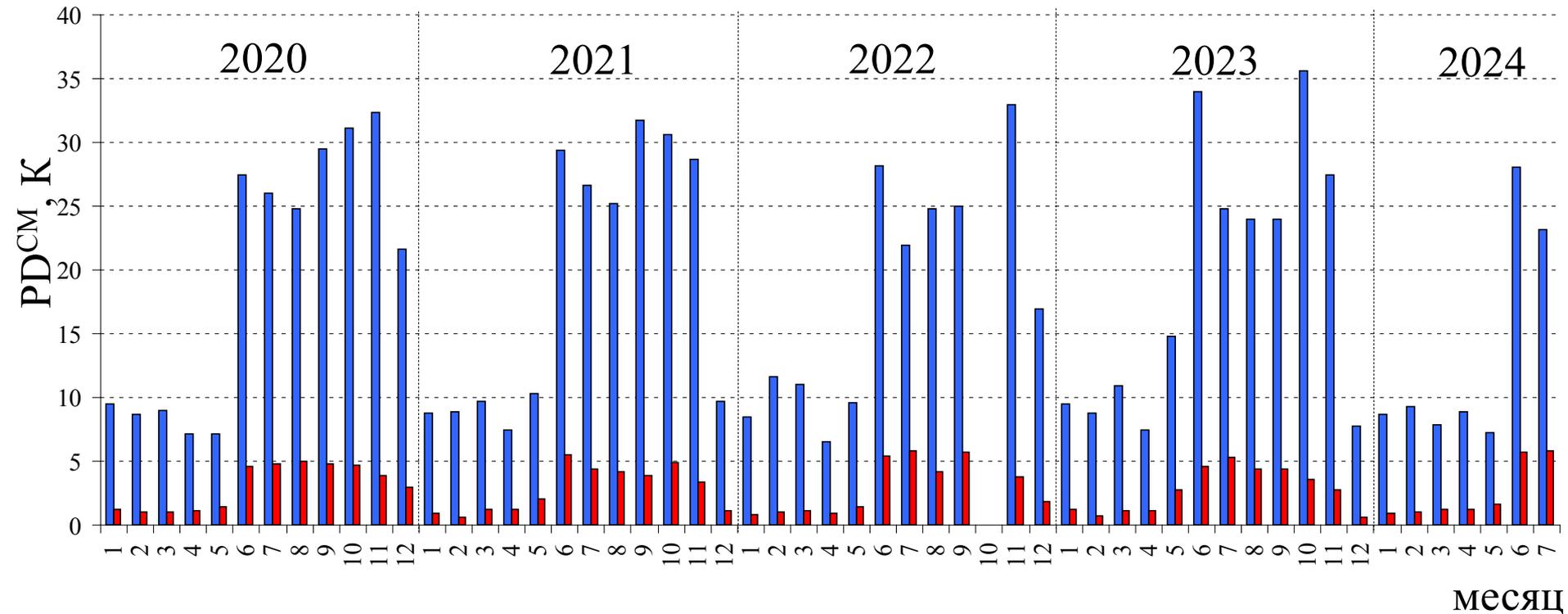
$N$  – количество пикселей измерений над водохранилищем

$N = \text{от } 15 \text{ до } 57$

# Статистические характеристики PD

- Низкие значения  $PD_{\text{ВВ}}$  характерны для зимнего сезона (с декабря-января по май), высокие – для сезона открытой воды с июня по ноябрь, а иногда, и по декабрь месяц;
- Средние зимние значения  $PD_{\text{ВВ}}$  составляют 9.1 К, летние – 27 К. Для зимнего сезона характерна существенно меньшая изменчивость  $PD_{\text{ВВ}}$  (среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  составляет 1.2 К);
- Изменчивость  $PD_{\text{ВВ}}$  в летний сезон ~ в 4 раза выше (среднее значение за рассматриваемый период составляет 4,4 К), что связано с сезонным увеличением параметров влагосодержания атмосферы (а также, с ветром).

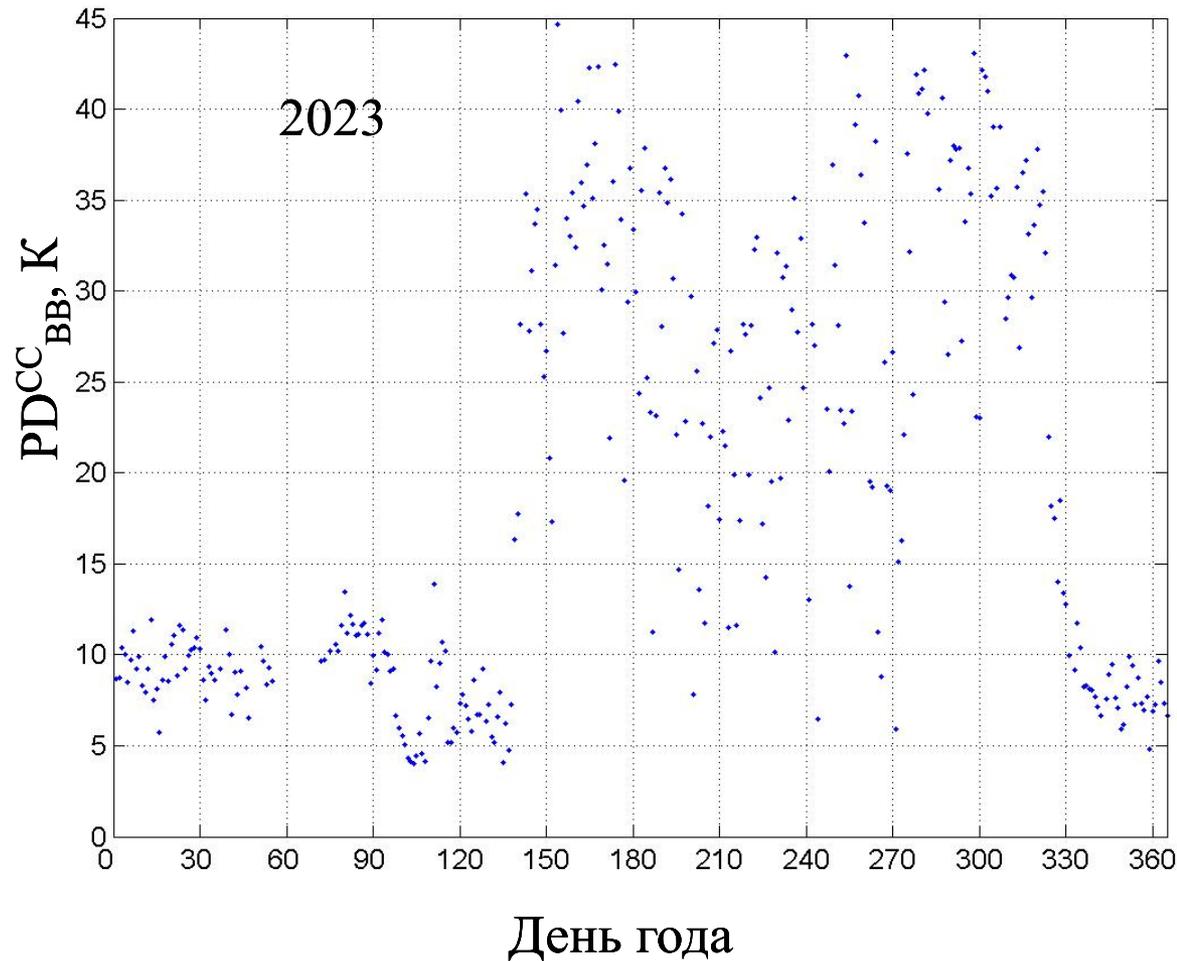
# Среднемесячные значения РД над Верхнетуломским водохранилищем за период с января 2020 по июль 2024 г.



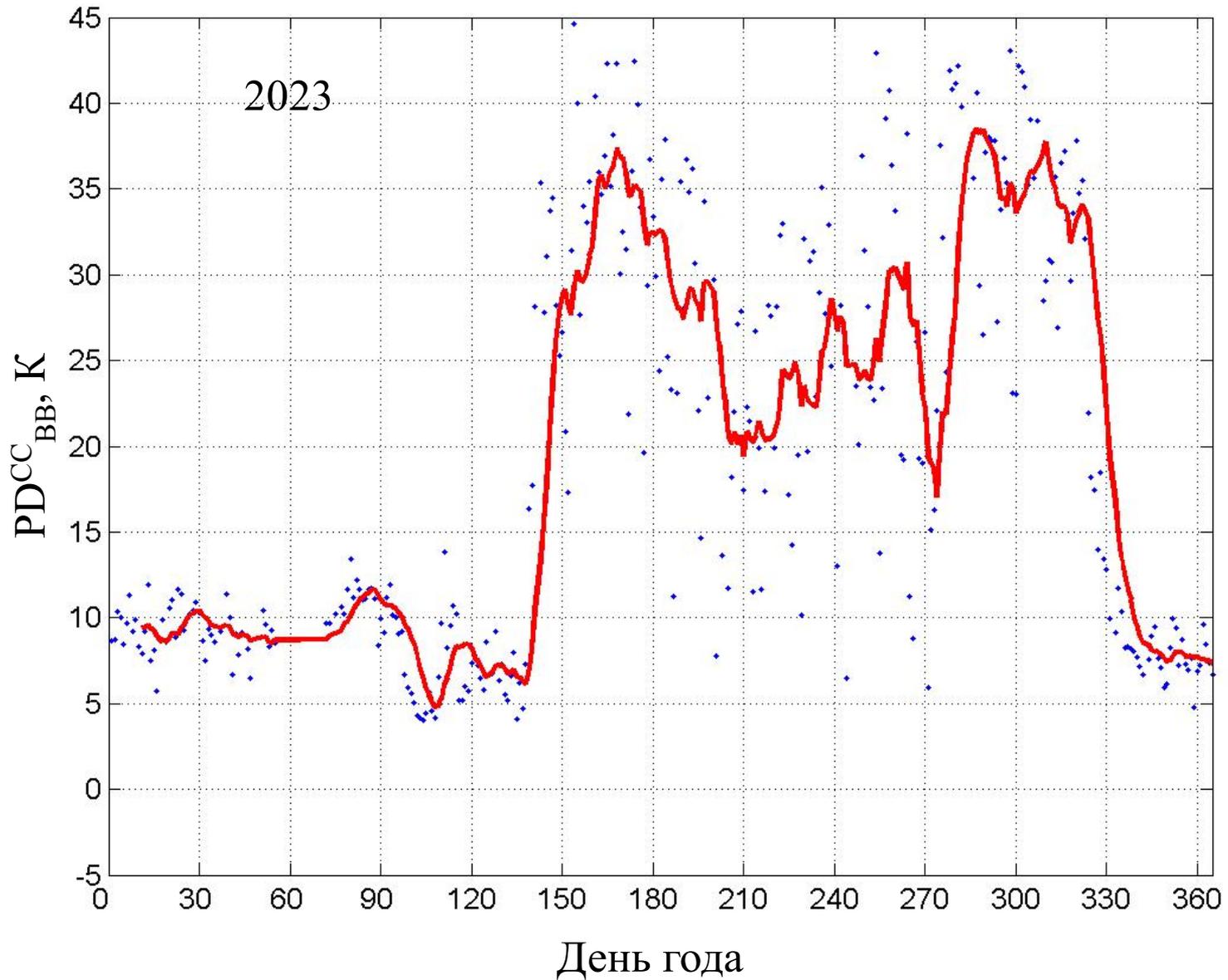
МЕСЯЦ

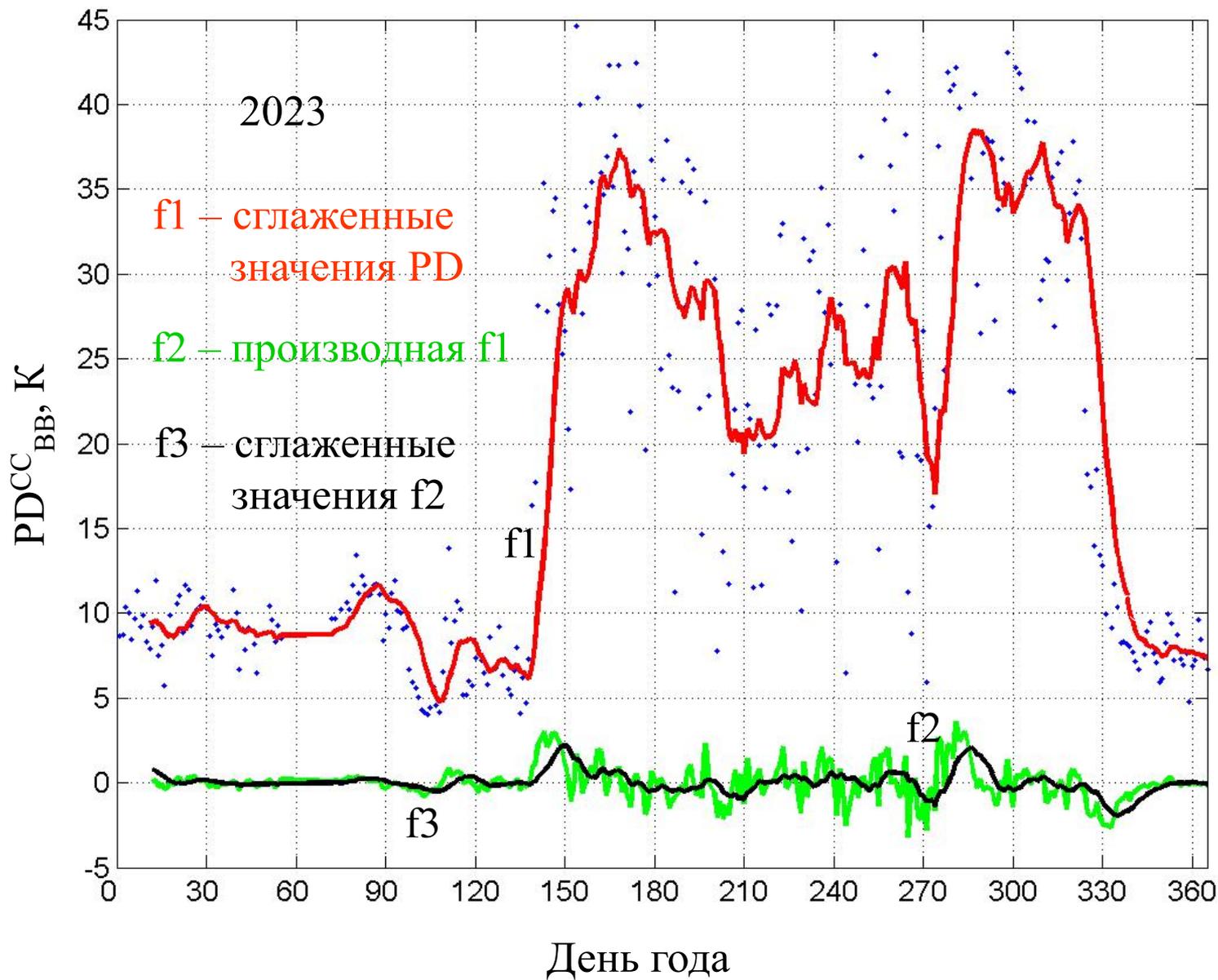
# Анализ среднесуточных значений PD

- Использовался метод скользящего среднего;
- Размер временного интервала сглаживания подбирался экспериментально;
- Оптимальным размером «окна», при котором наиболее чётко выражен переход от зимних значений к их летним значениям, оказался интервал времени в 10 дней.



# Сглаживание PD с окном в 10 дней

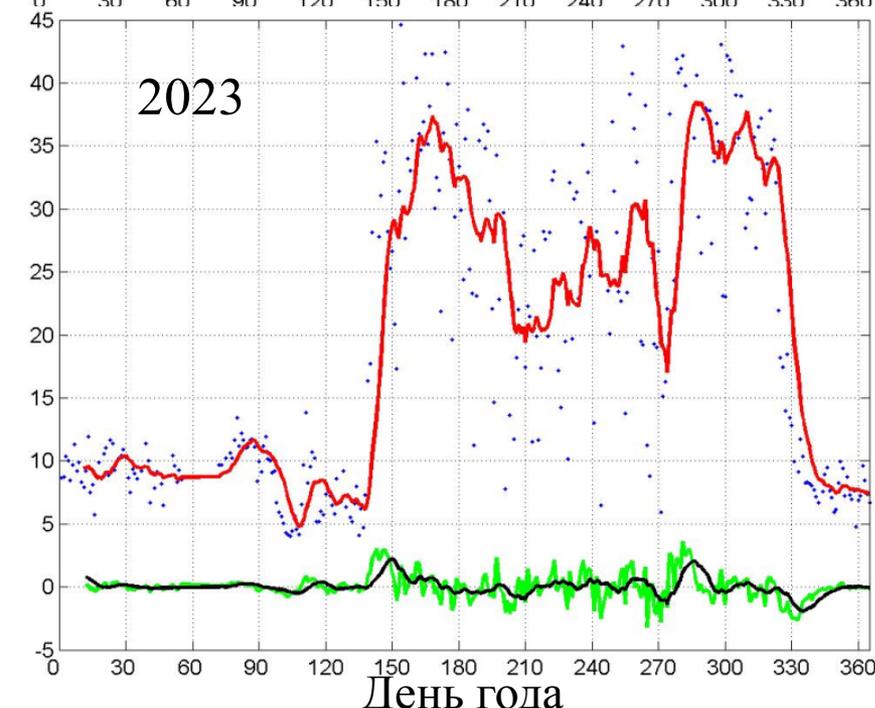
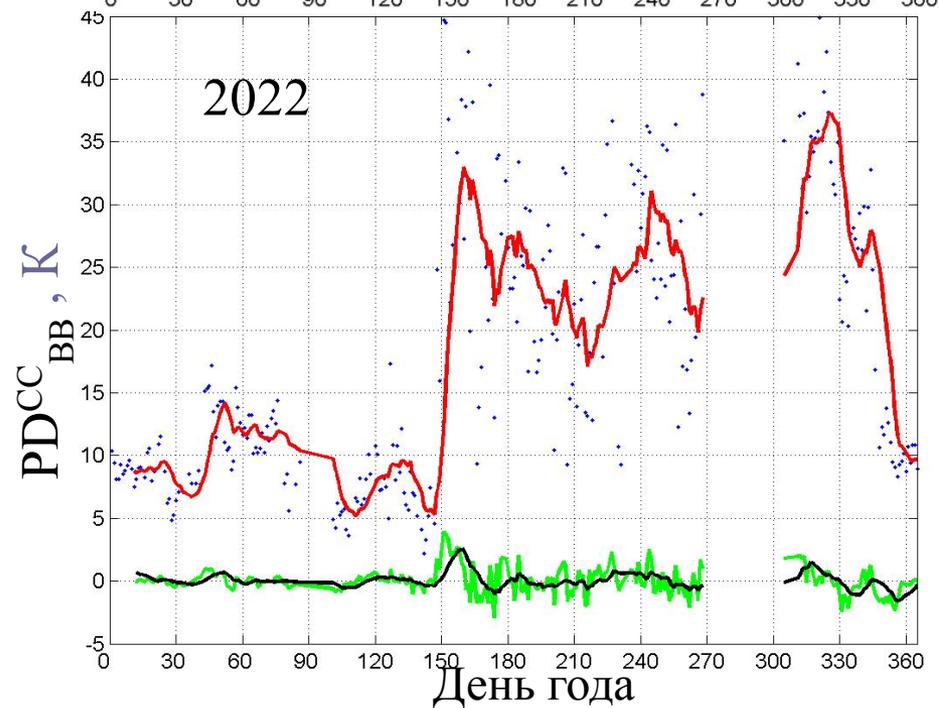
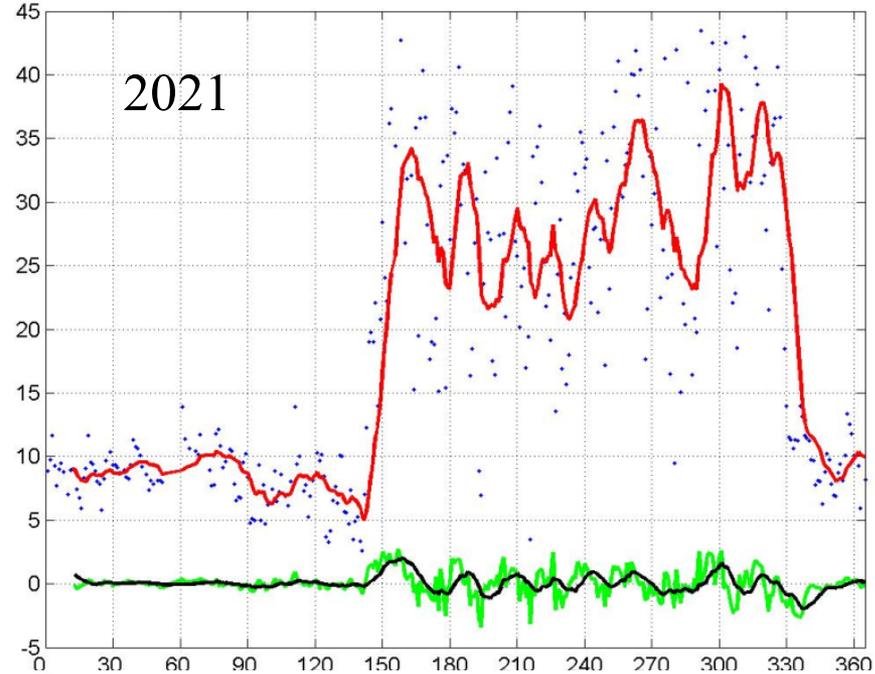
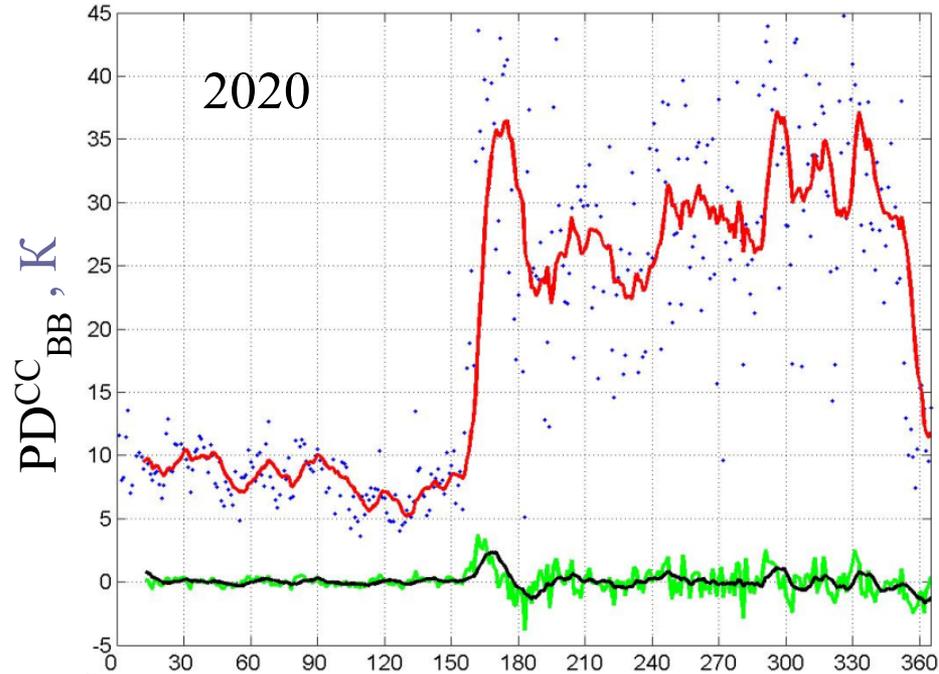




# Метод определения сроков начала таяния льда, полного очищения ото льда, начала ледостава и его полного замерзания

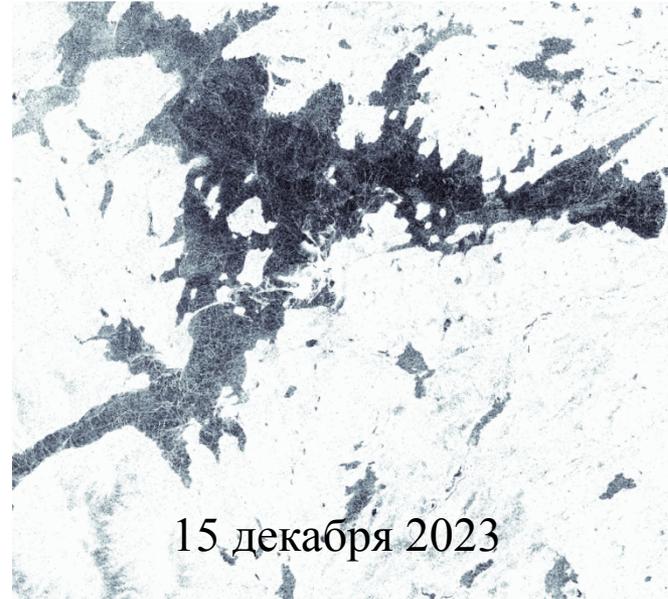
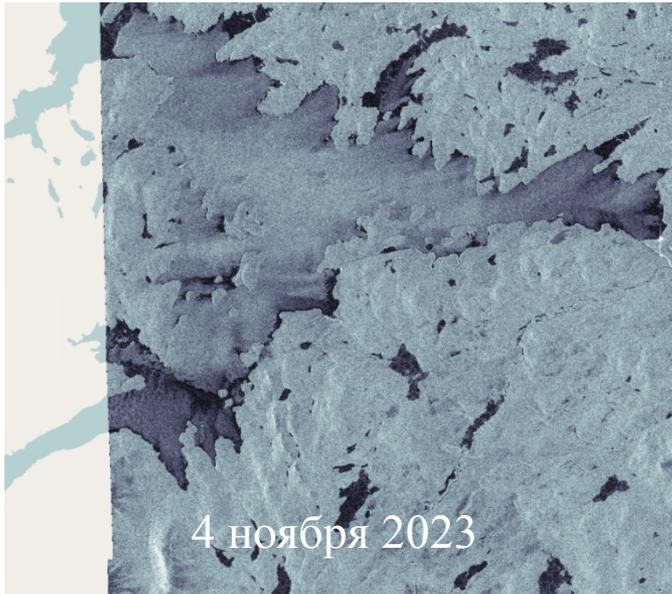
Наличие летних, а иногда, и зимних, локальных экстремумов функции  $f_3$  не позволяет обойтись при определении сроков ледовых явлений без априорной информации об этих сроках

- Датой полного очищения водохранилища ото льда можно считать день, соответствующий первому после зимы (в мае-июне) максимуму функции  $f_3$ , превышающему  $2 \text{ К}$ ;
- Датой начала таяния льда на водохранилище – первый день роста функции  $f_3$  к этому максимуму, при котором её значения превышают  $0.5 \text{ К}$ ;
- Датой начала ледостава - день, соответствующий началу уменьшения функции  $f_3$  к её последнему в году (в ноябре-декабре) минимуму;
- Датой окончания ледостава – возвращение функции  $f_3$  к значениям, по модулю не превышающим  $0.5 \text{ К}$ .



# Верификация метода

- С помощью спутниковых снимков;
- С помощью данных отчётов гидрометслужбы о состоянии водных объектов в Мурманской области за 2020-2022 гг.



## Заключение

- На примере Верхнетуломского водохранилища Мурманской области продемонстрирована возможность использования данных спутниковых микроволновых радиометров, обладающих каналами поляризационных измерений на частоте  $\sim 90$  ГГц, для определения дат замерзания и очищения ото льда внутренних водоёмов с масштабами, превышающими  $100 \text{ км}^2$ .
- Первичная проверка работоспособности методики проведена как с помощью сопоставления результатов её применения со снимками РСА Sentinel-1, так и с отчётами гидрометслужбы о состоянии водных объектов в Мурманской области.