

**Двадцать третья международная конференция  
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"**



**Зависимость сечения обратного рассеяния  
степных озер от скорости приводного ветра**

**Шагарова Л.В., Яценко А.С.  
ИРФЭ ОНЦ СО РАН**

# Актуальность исследования

- Микроволновое дистанционное зондирование активно применяется для изучения процессов взаимодействия атмосферы и подстилающей поверхности.
- Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) позволяют производить съёмку поверхности Земли в любое время суток при любых погодных условиях. Наличие облачности и ветра вносят погрешность в измерения сечения обратного рассеяния в диапазоне дециметровых и сантиметровых волн
- Проблему классификации типов поверхности на радиолокационном изображении по пороговым значениям эффективной площади рассеяния (ЭПР,  $\sigma^0$ ) усугубляют разные углы зондирования. Т.е. диапазоны значений ЭПР, которые соответствуют одному и тому же участку поверхности, при разных углах зондирования значительно разнятся; требуется их нормирование. Эталонным объектом для нормирования данных является гладкая поверхность озёр (гладкая – при отсутствии ветра).
- Сечение обратного рассеяния водной поверхности отражает состояние её микрорельефа и, следовательно, чувствительна к ветровому воздействию. Определить степень взаимосвязи сечения обратного рассеяния степных озёр от скорости приводного ветра позволяет корреляционный анализ.

# Методика и исходные данные

## Радиолокационные данные Sentinel-1

- Данные ДЗЗ Sentinel-1 в режиме Interferometric Wide Swath (IW) за период май – октябрь с 2017 по 2021гг.
- Время пролёта спутников с относительных орбит 49 и 151 над районом исследования – 01:25 - 01:35 UTC
- Уровень обработки снимков Sentinel-1 – GRDH (Ground Range Detected High Resolution).

## Источник ветровых данных

- Метеостанция «Полтавка» — данные о скорости ветра с трёхчасовой периодичностью. Для анализа выбраны значения, приближенные ко времени пролёта спутников (T00 и T03 UTC).

## Корреляционный анализ

- Для оценки взаимосвязи ЭПР степных озёр и приводного ветра вычислены коэффициенты корреляции ( $r$ ) между временными рядами скоростей ветра и усреднёнными значениями ЭПР в различных поляризациях и при различных углах зондирования
- Коэффициенты корреляции определены статистическим методом Пирсона



# Исходные данные I – радиолокационные снимки Sentinel-1

## Объекты исследования – степные озера, ЭПР



Камышловское: 40.563°

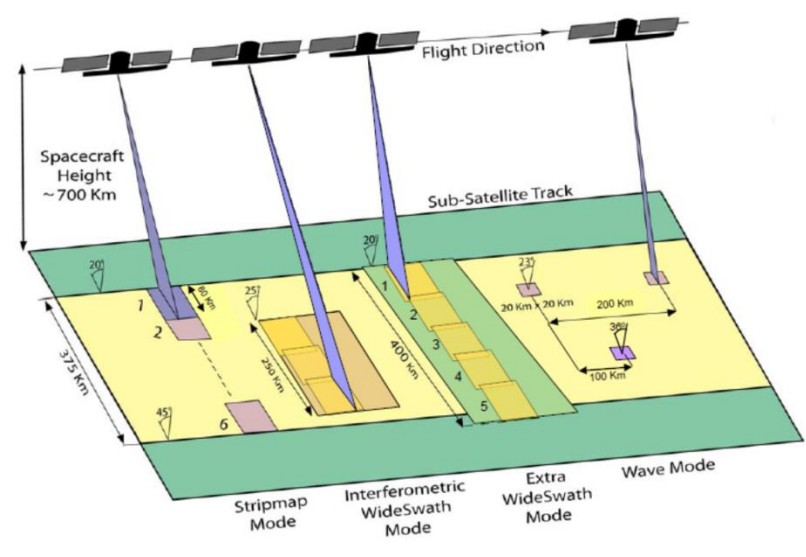
**GRDH**

Кызылкак: 31.385°



Разным участкам снимка соответствуют разные углы зондирования





# GEE: Sentinel-1

Загрузка и предобработка  
радиолокационных данных

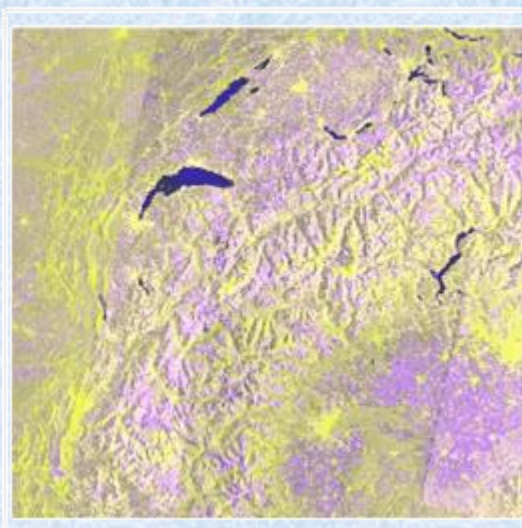


Apply orbit file

Noise removal

Radiometric  
calibration

Преобразование  
данных  
геометрии  
наземной  
дальности в  $\sigma^\circ$  с  
использованием  
ЦМР



## Dataset Availability

2014-10-03T00:00:00Z–2025-08-18T04:15:47Z

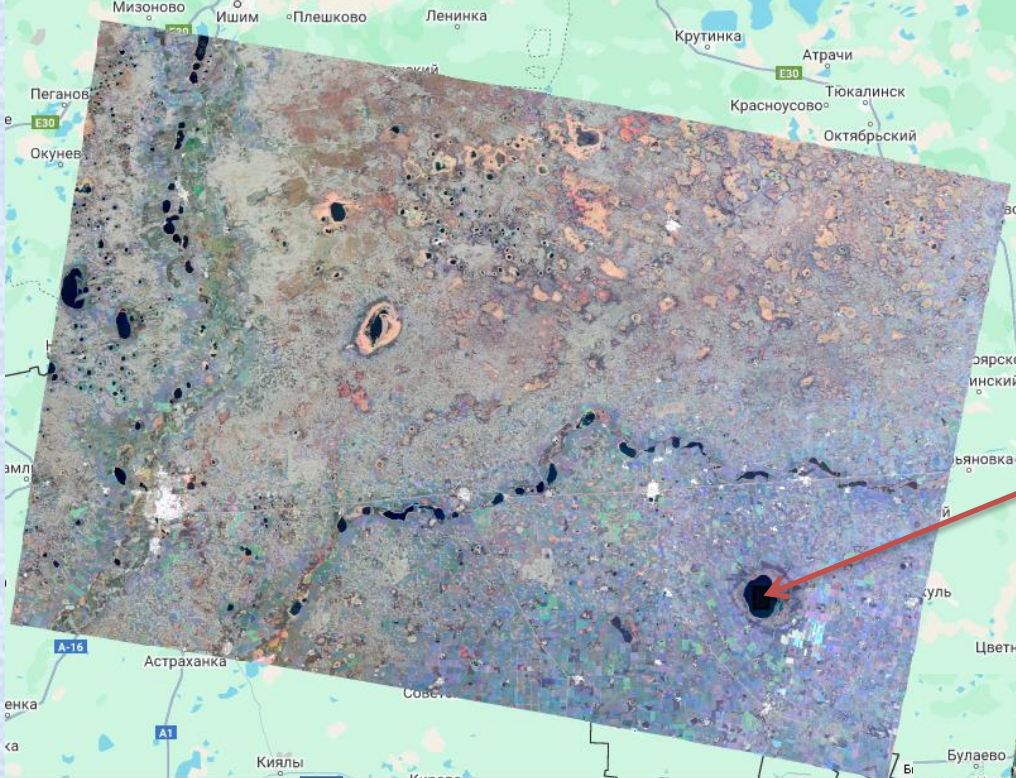
## Dataset Provider

[European Union/ESA/Copernicus](#)

## Earth Engine Snippet

```
ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")
```

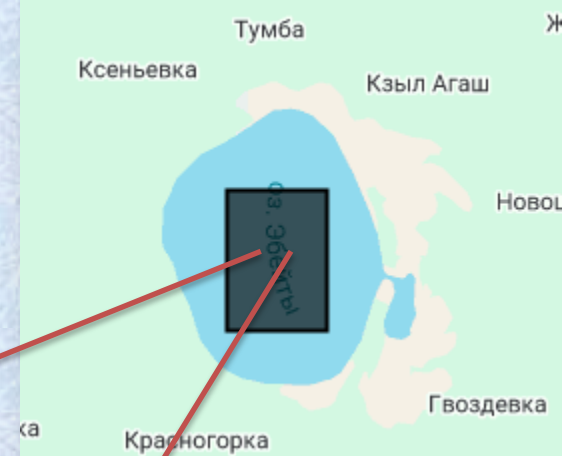




## Sentinel-1

Орбита 49,  
Угол 33.15

Озеро Эбейты

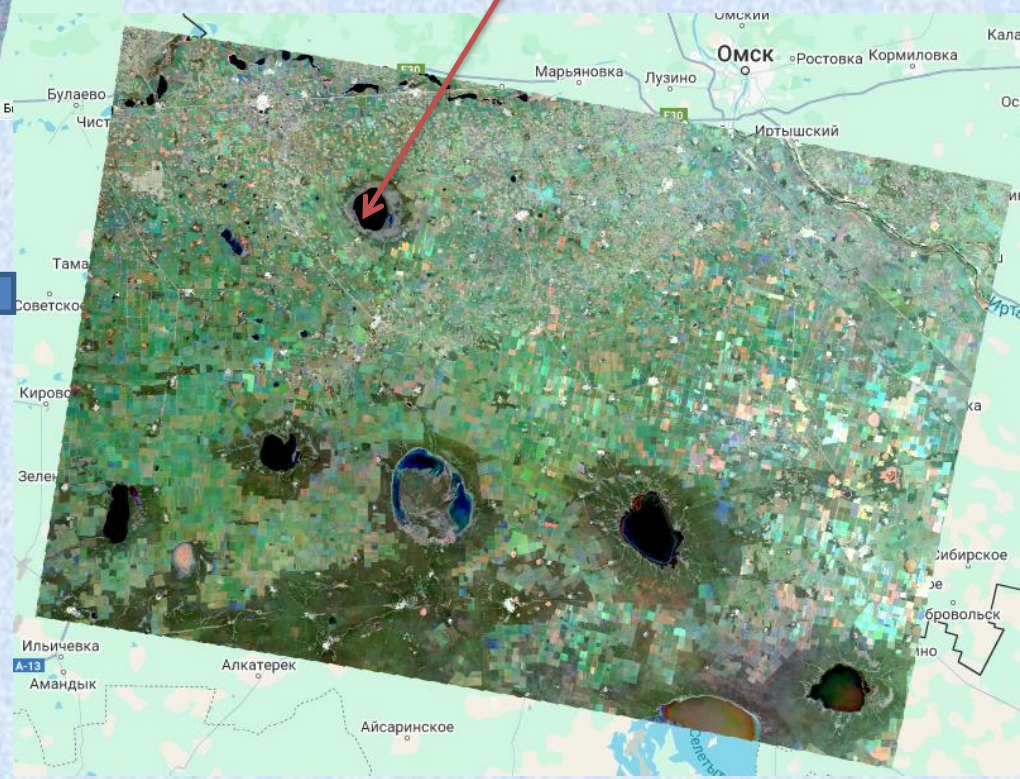


Орбита 151,  
Угол 41.23

20190802**T0133**  
20190814**T0133**  
20190826**T0133**

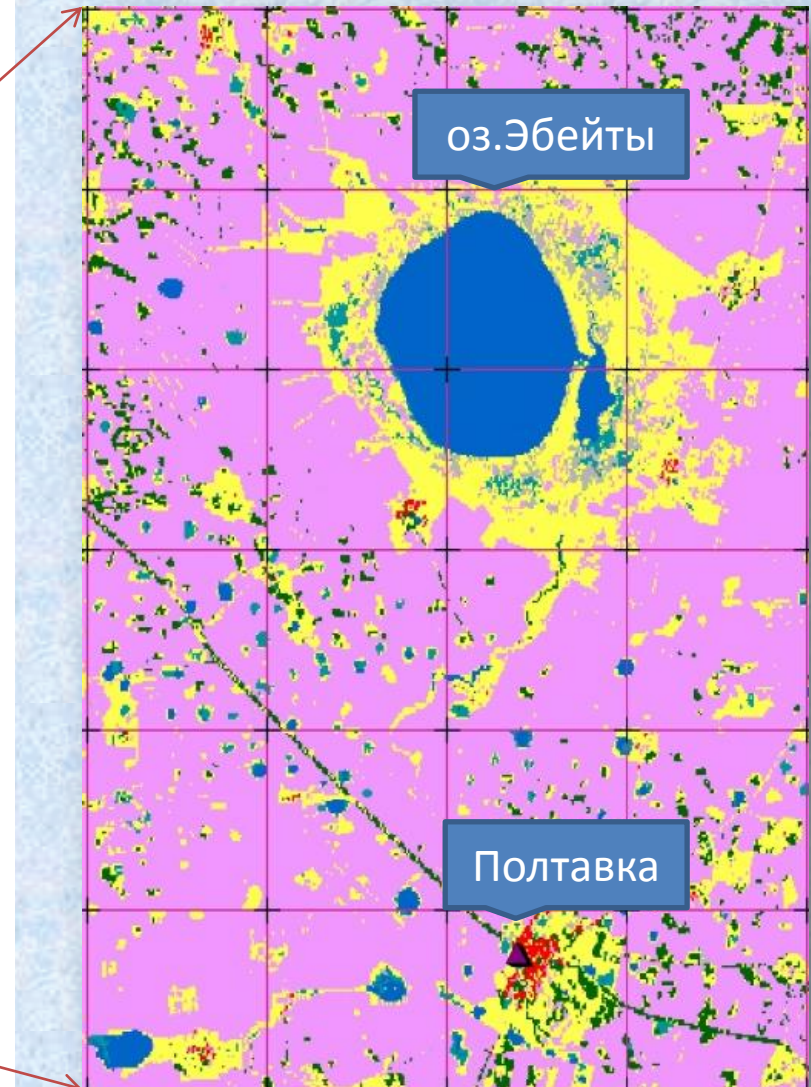
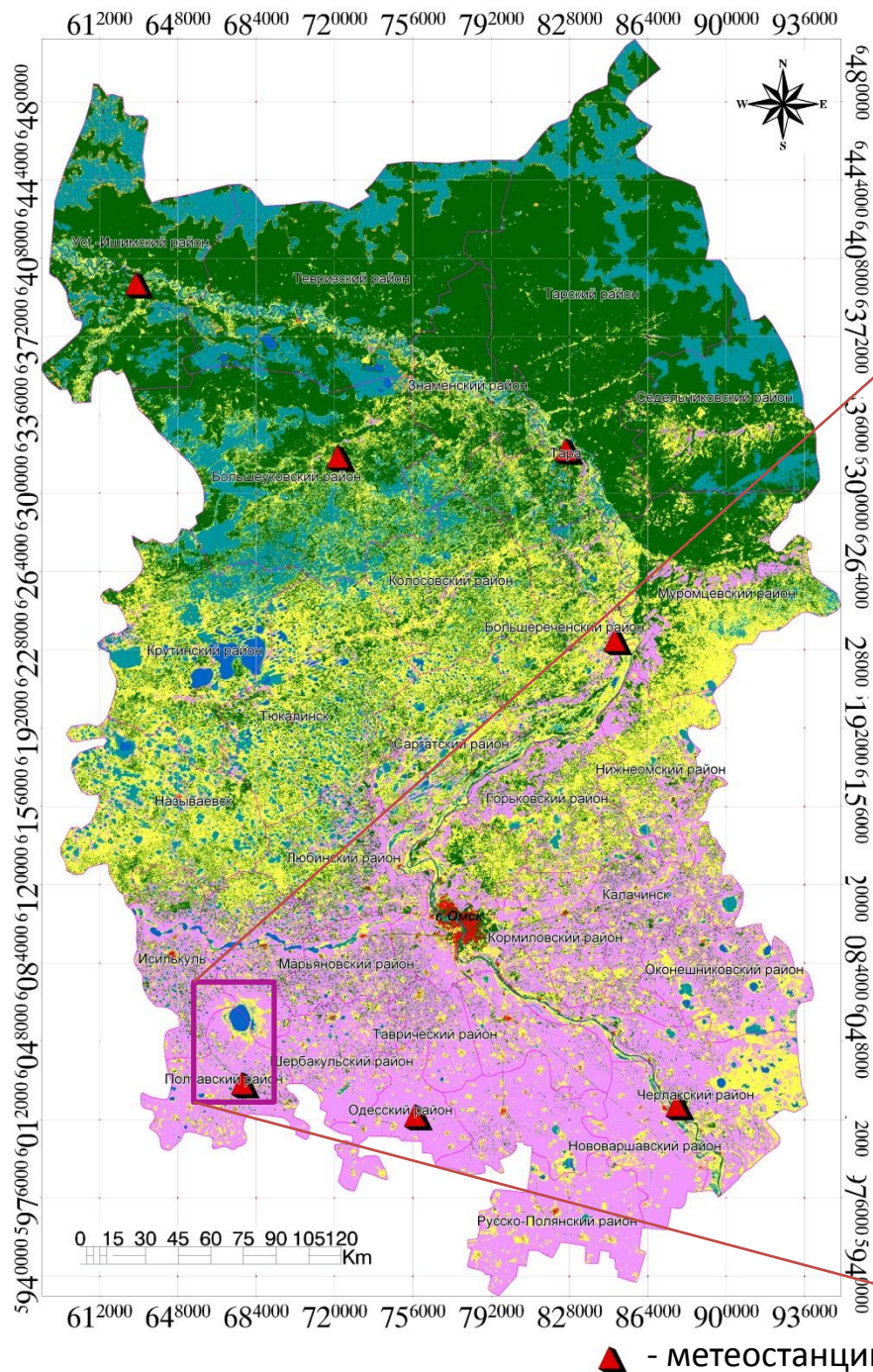
20190704**T0125**  
20190716**T0125**  
20190728**T0125**

Угол зондирования для одного и того же объекта зависит от орбиты КА.  
Время пролета Sentinel-1  $\approx$  01:30 UTC





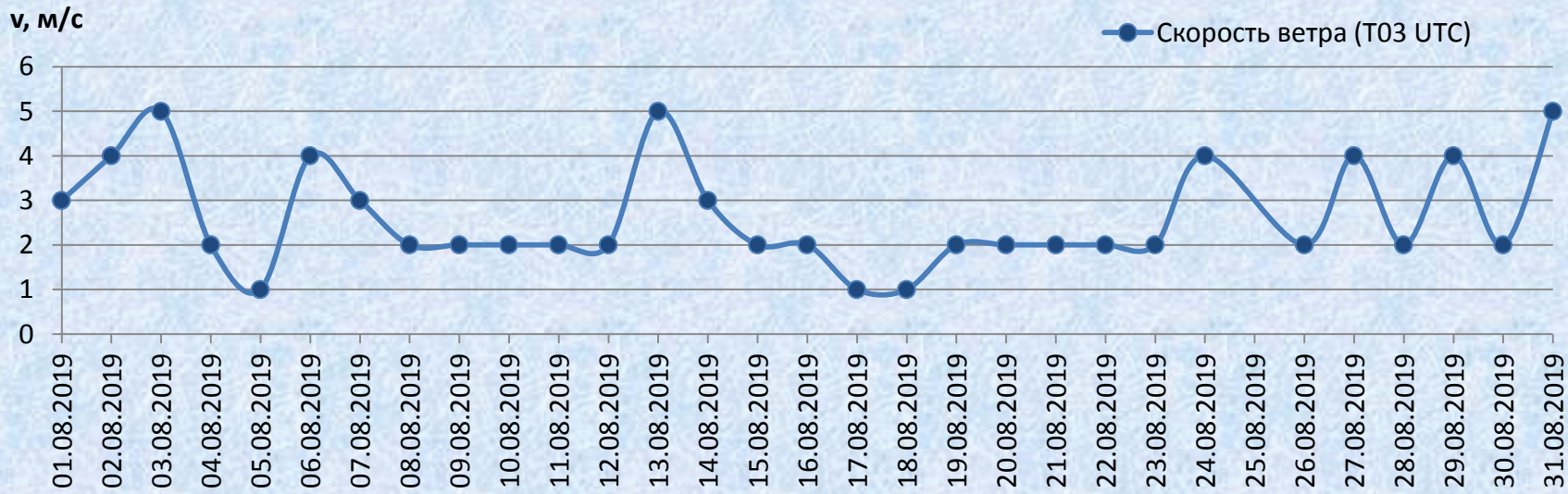
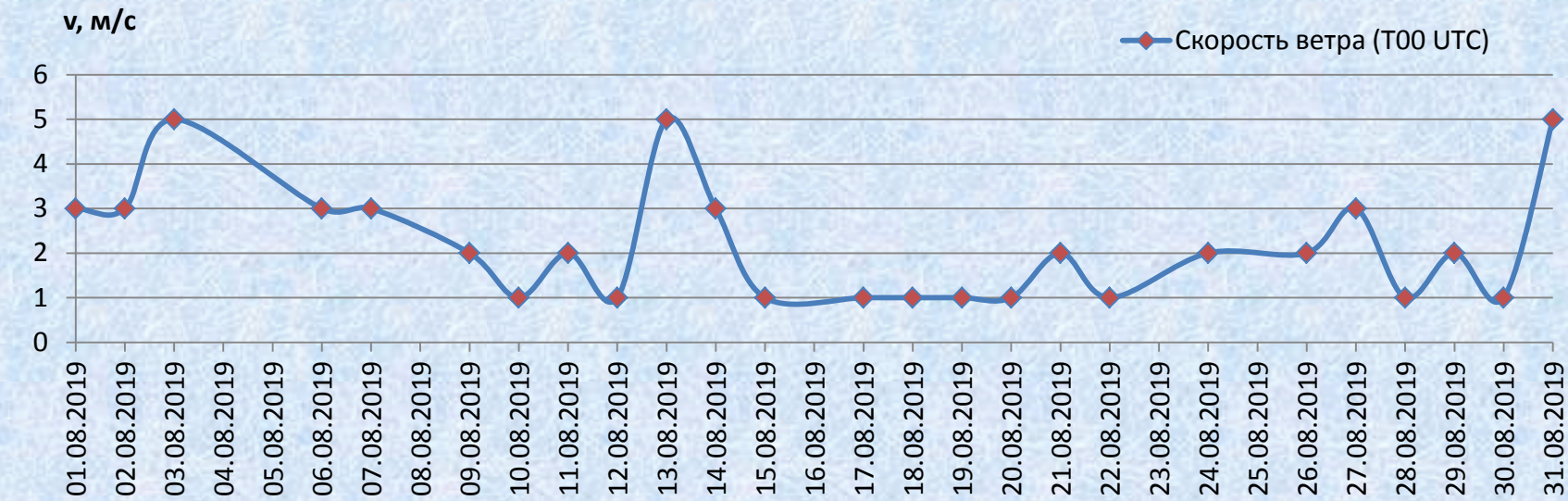
# Схема расположения метеостанций в пределах Омской области





# II набор данных - фактические измерения метеостанции Полтавка

Дата	Широта	Долгота	Высота	Азимут, ветер	Скорость, ветер	Температура	Точка росы	Давление	Осадки
------	--------	---------	--------	---------------	-----------------	-------------	------------	----------	--------



\*Период – август 2019 г. Временная частота – 3 часа. Единица измерения – метры в секунду



# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ НАБОРОВ ДАННЫХ

Коэффициент корреляции Пирсона:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

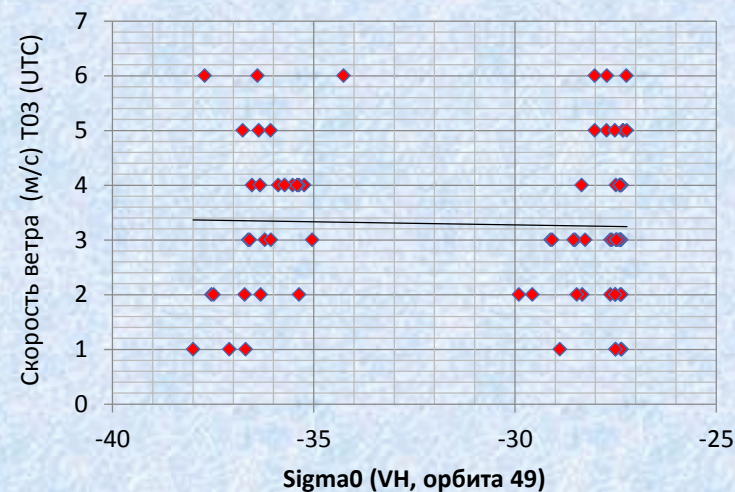
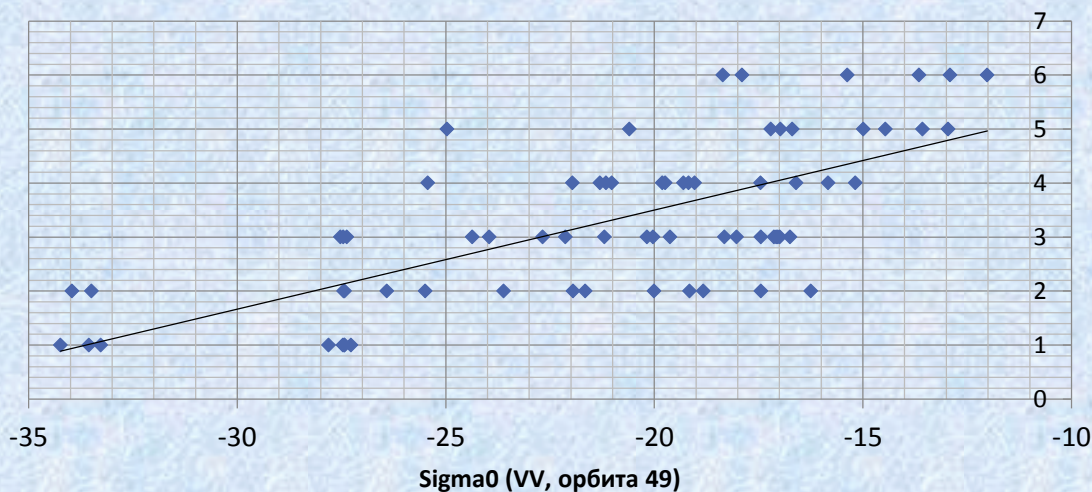
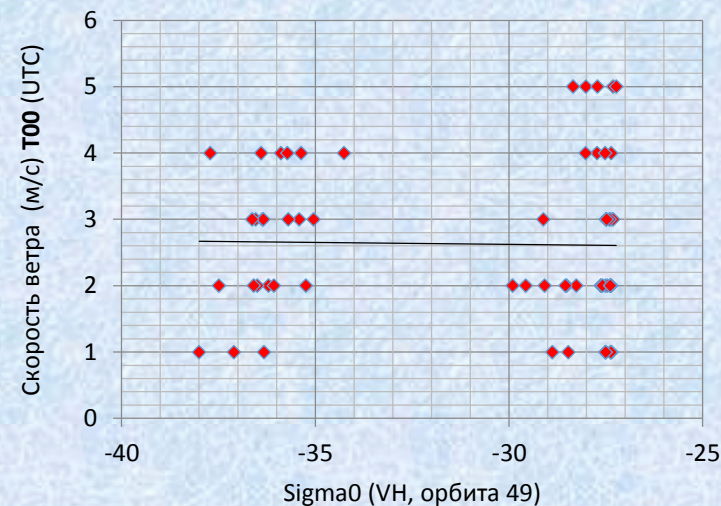
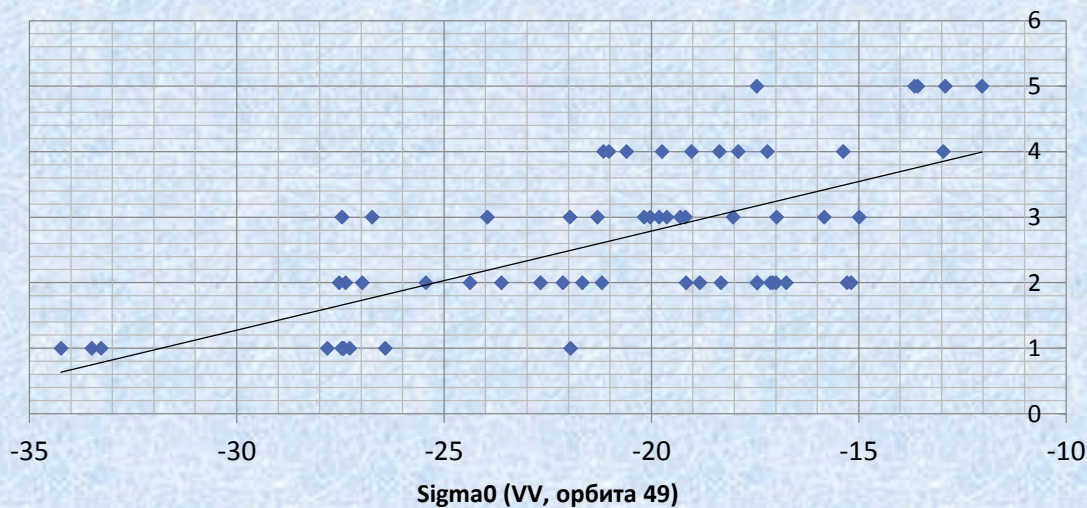
Характер связи между рядами данных:



# Результаты



Корреляция Пирсона: ЭПР (Sentinel-1, орбита 49) - скорость ветра (метеостанция) 2017-2021 (май – октябрь)



ЭПР (VV)	Т 00:00	Т 03:00
49 орбита, угол 33.15	0,667	0,700

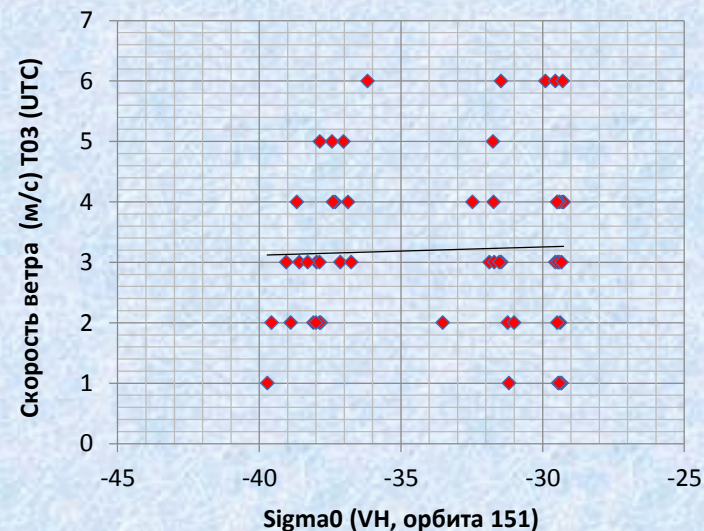
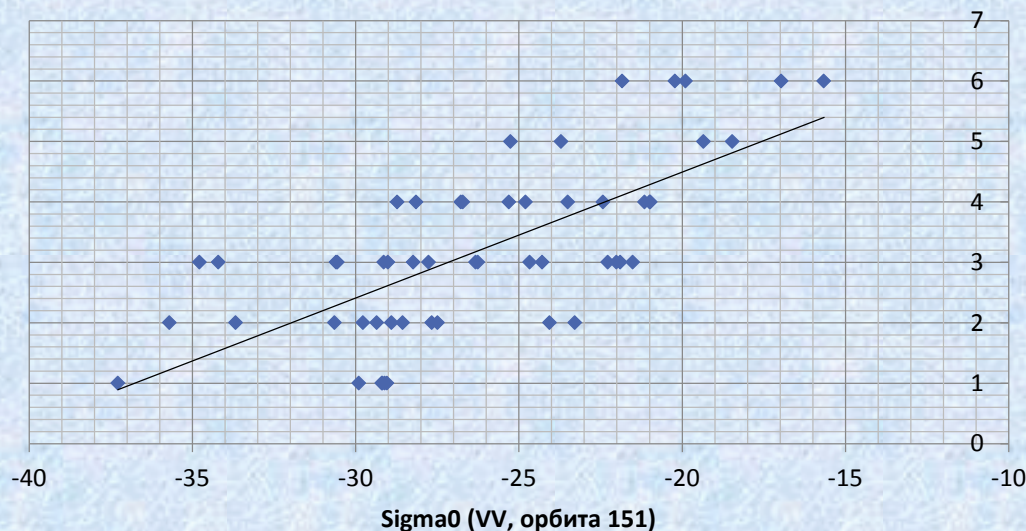
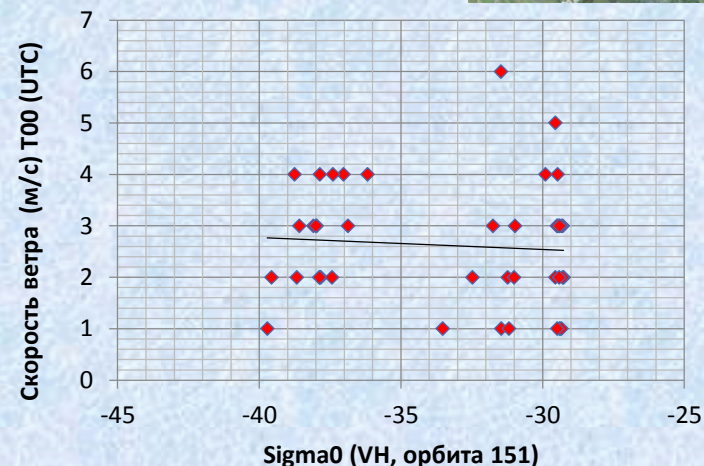
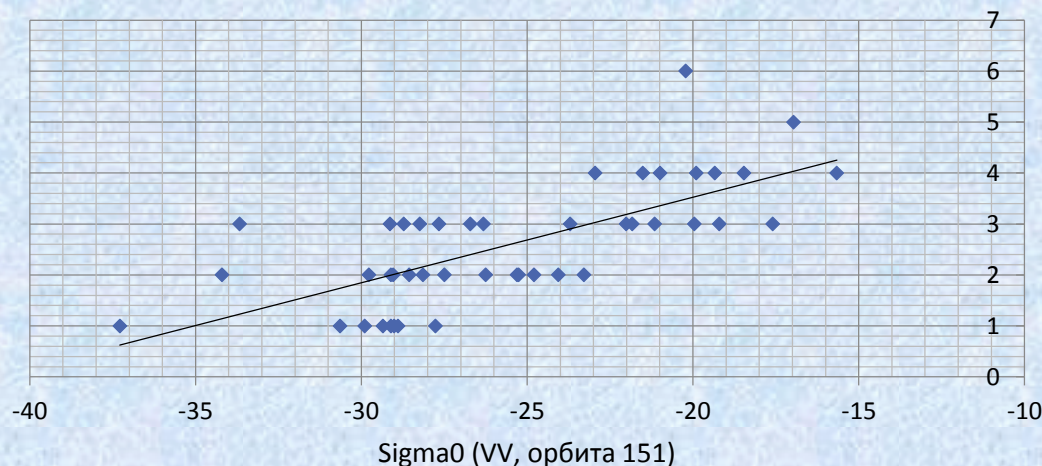
ЭПР (VH)	Т 00:00	Т 03:00
49 орбита, угол 33.15	-0,020	-0,034



# Результаты



Корреляция Пирсона: ЭПР (Sentinel-1, орбита 151) - скорость ветра (метеостанция) 2017-2021 (май – октябрь)



ЭПР (VV)	Т 00:00	Т 03:00
151 орбита, угол 41.23	0,706	0,702

ЭПР (VH)	Т 00:00	Т 03:00
151 орбита, угол 41.23	-0,080	0,039

# Выводы

Установлена корреляционная зависимость скорости ветра и ЭПР для согласованной вертикальной поляризации (VV)

Это объясняется возрастающей неровностью поверхности воды в вертикальном направлении при увеличении силы ветра.

Основное влияние оказывает зональная (восточно-западная) компонента ветра, совпадающая с азимутом зондирования Sentinel-1.

Представленная корреляционная взаимосвязь позволяет на основе информации о скорости ветра оценить ожидаемый диапазон значений сечения обратного рассеяния степных озер. Значительные отклонения измеренных значений ЭПР от этого диапазона свидетельствуют о наличии облачности над исследуемым участком.

При дальнейшем тематическом картировании на основе радиолокационных снимков степные озера планируется рассматривать в качестве эталонных участков поверхности для корректного определения ЭПР с учетом погодного затухания.

