



**К вопросу об использовании
данных двухчастотного
дождевого радиолокатора для
мониторинга ледяного покрова
внутренних водоемов**

**Караев В.Ю., Сорокин Е.С., Титченко Ю.А., Панфилова М.А.,
Мешков Е.М.**

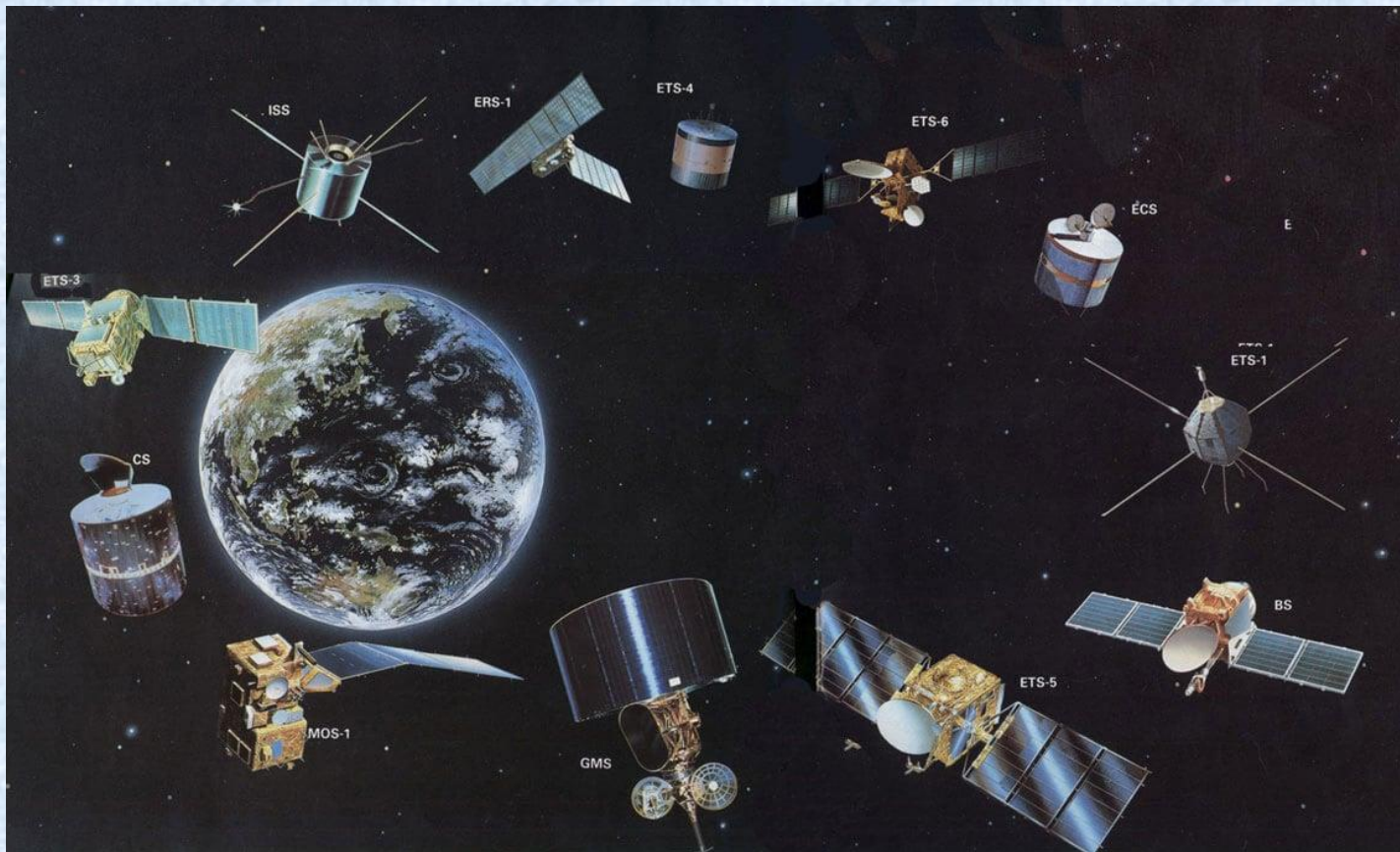
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Аннотация

В последние десятилетия проблема изменения климата Земли и оценка скорости происходящих изменений становится одной из важнейших задач, стоящих перед учеными. В качестве одного из критериев можно использовать длительность (период) «существования» ледяного покрова на внутренних водоемах. Однако небольшие размеры внутренних водоемов затрудняют применение скаттерометров, радиовысотометров и радиометров для мониторинга, а использование оптических средств крайне затруднено наличием облачности в период формирования и разрушения ледяного покрова. Для решения этой задачи предлагается использовать данные двухчастотного дождевого радиолокатора (Dual-frequency Precipitation Radar - DPR), который установлен на спутнике GPM. Измерения выполняются при малых углах падения ($\pm 18^\circ$) и формируется радиолокационное изображение шириной 245 км с разрешением около 5 км в Ku- и Ka-диапазонах. Было показано, что на радиолокационном изображении «видны» реки шириной 400-500 м. После формирования ледяного покрова река становится «незаметной» на радиолокационном изображении, что позволяет определить дату формирования ледяного покрова. «Появление» реки на радиолокационном изображении весной говорит о разрушении ледяного покрова. Обработка данных подтвердила сделанное предположение.

Введение

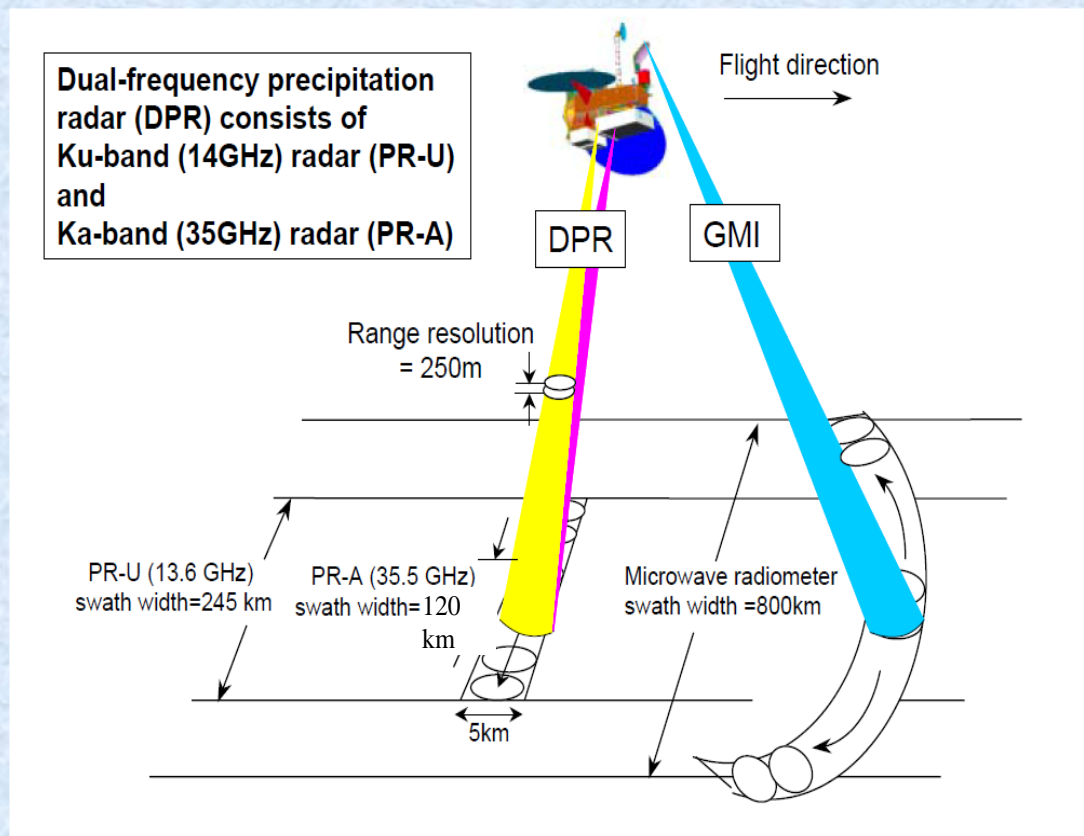
В настоящее время на орбите сформирована большая «радиолокационная» группировка, позволяющая решать широкий круг задач. Наиболее известными радиолокаторами являются скаттерометр, высотометр (альтиметр), радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА).



Введение

Двухчастотный дождевой радиолокатор (Dual-frequency Precipitation Radar - DPR) (длина волны 2,1 см и 0,8 см) был выведен на орбиту 28 февраля 2014 в рамках первой Глобальной миссии по измерению осадков (Global Precipitation Mission - GPM).

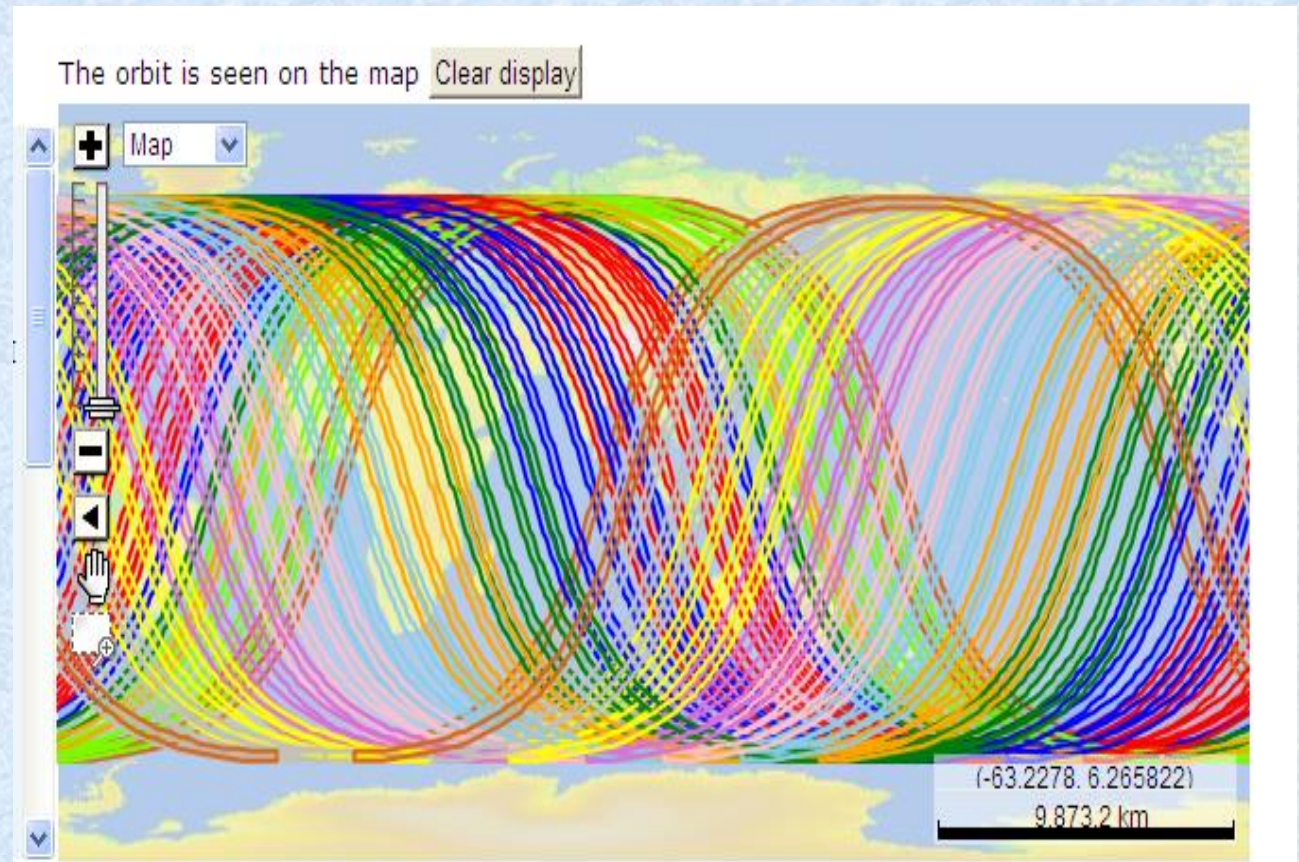
Высота орбиты GPM составляет около 400 км. Радиолокатор сканирует в направлении, перпендикулярном направлению полёта и угол зондирования в Ку- и Ка-диапазонах меняется в пределах $\pm 17^\circ$. Ширина полосы обзора составляет около 245 км с разрешением 5 км



Введение

При этом формируется «сплошное» радиолокационное изображение подстилающей поверхности, т.к. размер «пятна» на поверхности составляет около 5 км, а смещение радиолокатора за время скана – около 4 км.

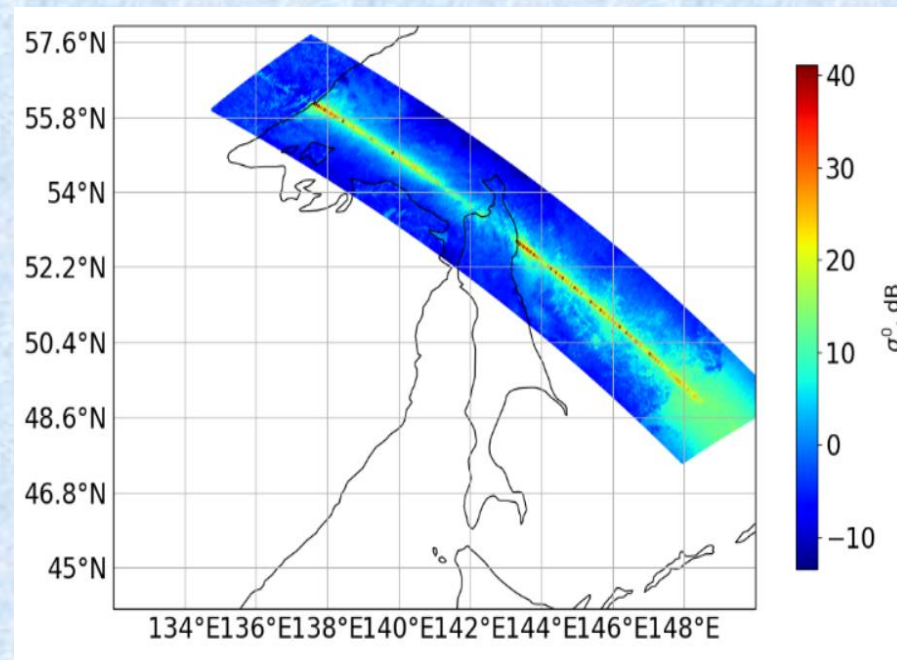
Благодаря изменению наклона орбиты, двухчастотный дождевой радиолокатор выполняет измерения над территорией с долговременным снежным покровом и ледяным покровом внутренних водоемов.



Введение

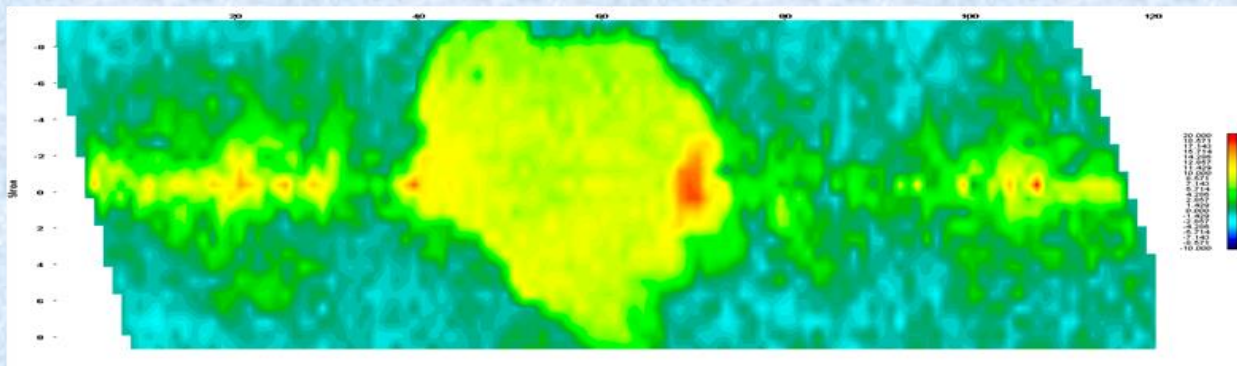
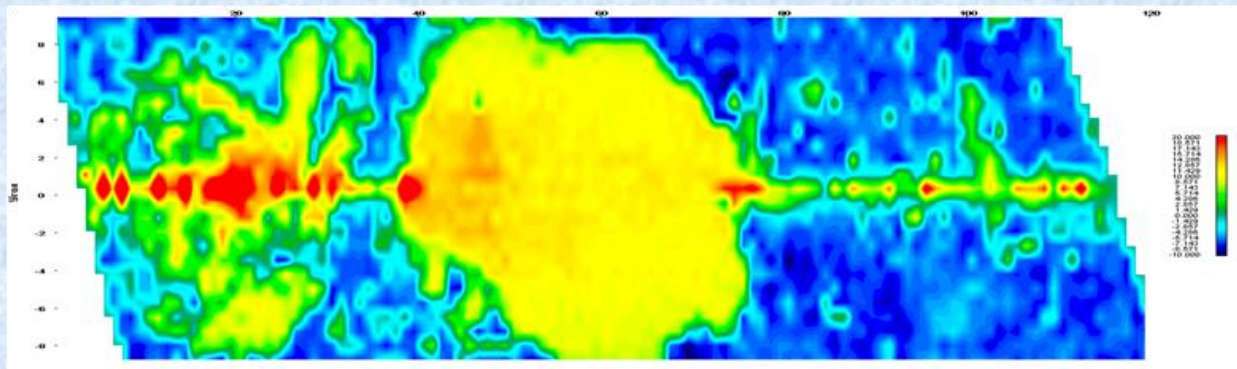
В средней полосе осенью происходит формирование ледяного покрова на внутренних водоемах, а весной происходит переход из «зимнего» состояния, сопровождающееся разрушением ледяного покрова. Задача интересна тем, что впервые для ее решения будут использоваться радиолокационные измерения при малых углах падения.

Спутник движется снизу вверх и на радиолокационном изображении внизу справа присутствует морское волнение (широкая зеленая полоса) и далее по траектории появляется лед и сечение обратного рассеяния уменьшается (синяя полоса). В данном случае море является удобным объектом из-за своих больших размеров для радиолокационного изображения с разрешением 5 км. Были разработаны алгоритмы для классификации подстилающей поверхности по критерию «лед-вода».



Введение

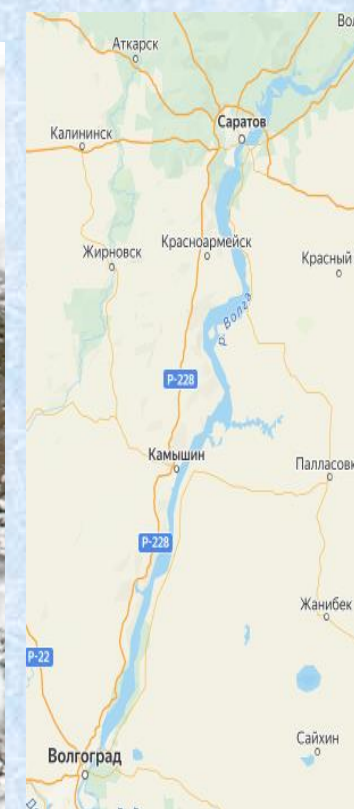
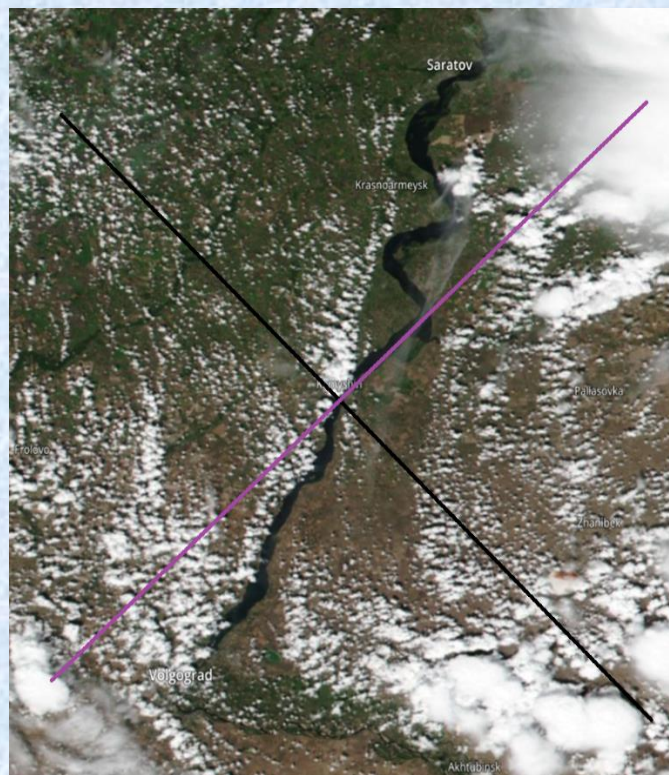
Большие внутренние водоемы также являются хорошим объектом для DPR, например, Ладожское озеро. Летом озеро «выделяется» на радиолокационном изображении (верхний рисунок, 5.07.2015). Нижнее изображение было получено зимой (06.02.2015). Озеро хорошо видно на радиолокационном «зимнем» изображении, что противоречит ожиданиям. Однако оказалось, что в эту зиму озеро не замерзло, что видно на оптическом изображении Modis (27.01.2015). Небольшой участок льда есть только около правого берега (красная область).



Тестовый полигон

В качестве тестового полигона для исследования была выбрана область, содержащая участок реки Волги между городами Саратов и Волгоград, и использовались данные с 01.11.2021 по 01.09.2022.

Для первого исследования было решено использовать «большой» водоем и в этой области Волга становится достаточно широкой и может проявиться на радиолокационном разрешении. Задача определения площади водоема, который становится заметным на радиолокационном изображении, будет рассматриваться в дальнейших исследованиях.

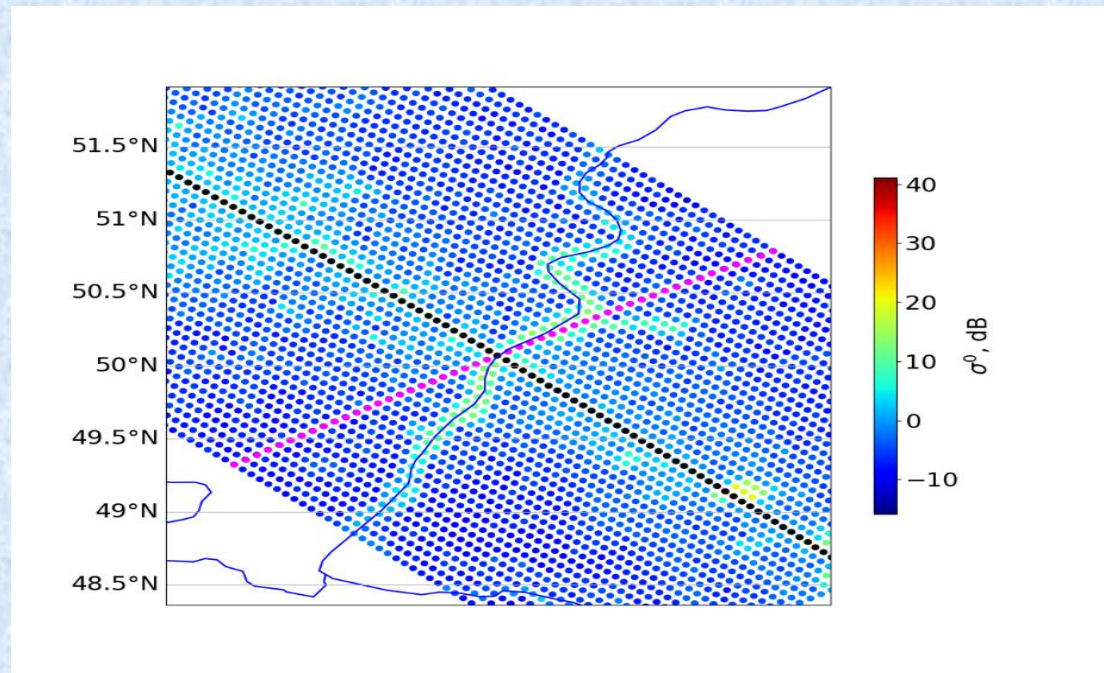


Обратное рассеяние при малых углах падения

На радиолокационном изображении DPR (Ka-диапазон) синей кривой показано положение р Волга. Ширина реки не отражена на рисунке.

Цвет «точек» соответствует измеренному сечению обратного рассеяния в дБ.

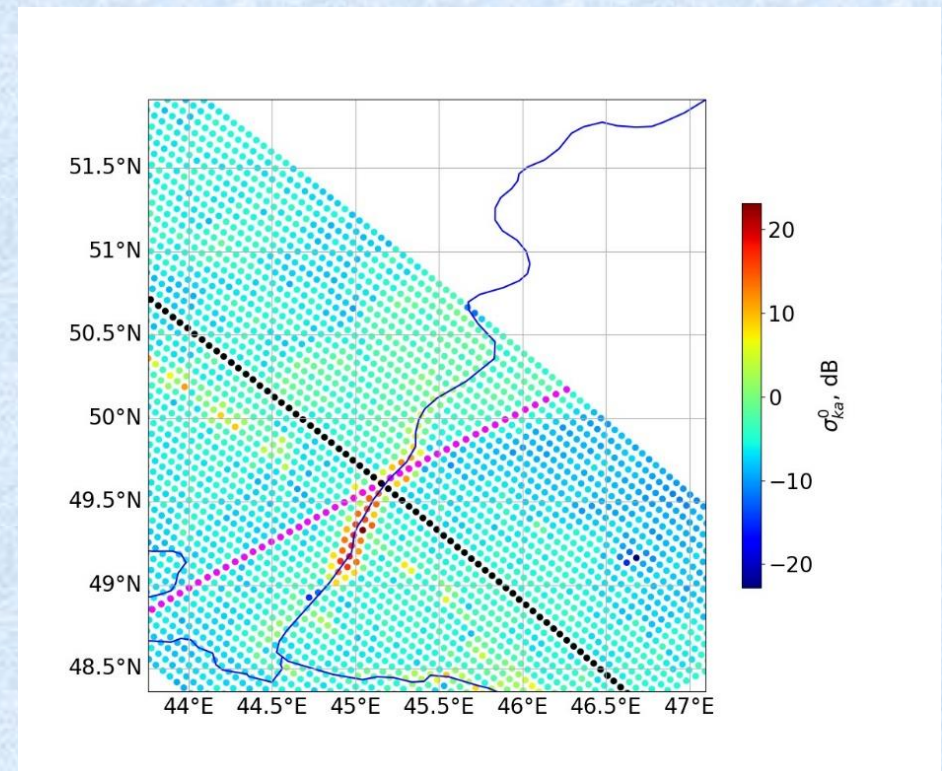
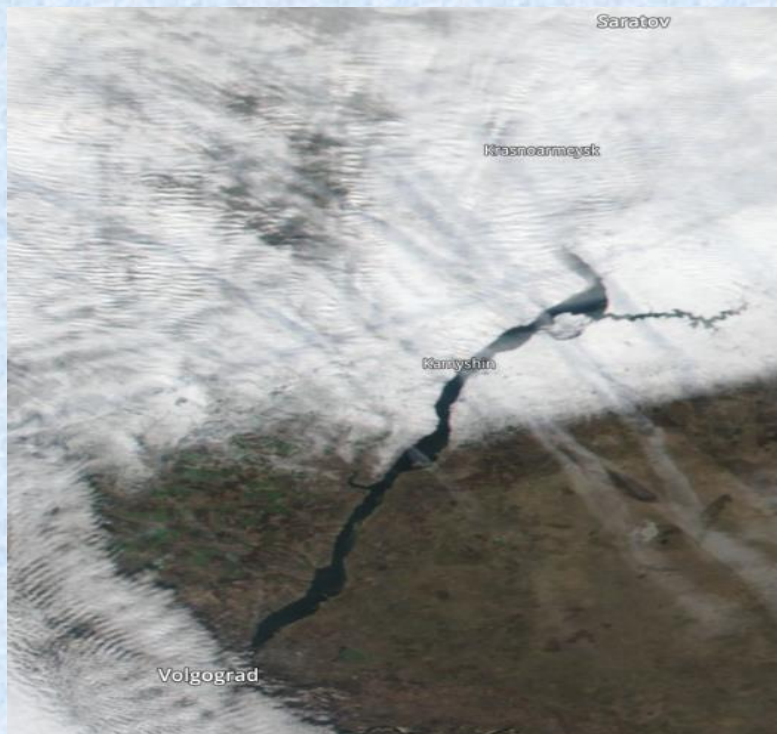
Черная кривая
проведена через
центр
радиолокационного
изображения и
красная кривая —
направление
сканирования.



Радарное изображение
исследуемой области от 12.08.2022

Формирование ледяного покрова

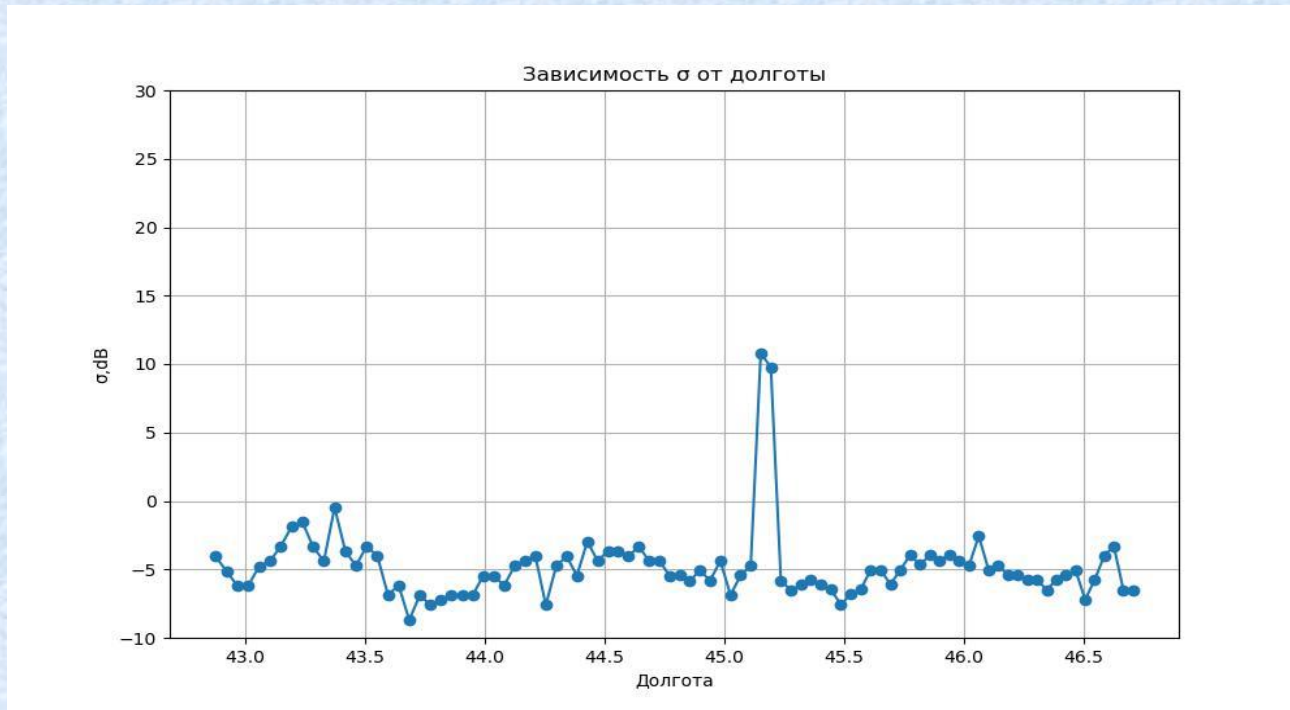
На оптическом снимке Modis (16.12.2021) видно, что река не покрыта льдом. На радиолокационном изображении (16.12.2021) также «выделяется» река. Черная кривая соответствует углу падения 4 градуса.



Оптическое и радиолокационное изображения реки от 16.12.2021

Формирование ледяного покрова

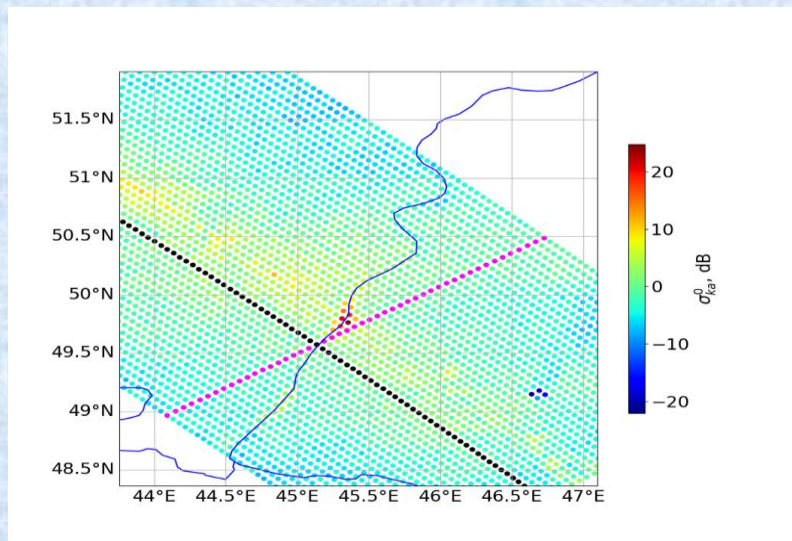
На рисунке показана зависимость сечения обратного рассеяния вдоль черной кривой (угол падения 4°). При малых углах падения сечение обратного рассеяния суши существенно меньше, чем сечение обратного рассеяния водной поверхности. Это приводит к появлению «пика» при пересечении реки.



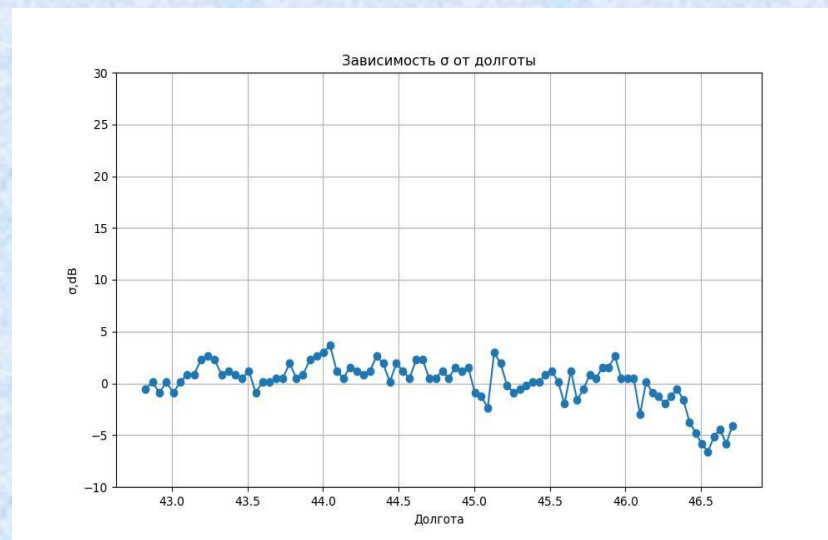
Разрез радиолокационного изображения (16.12.2024) для угла падения 4°

Формирование ледяного покрова

Ситуация меняется 27.12.2021, что отражается в радиолокационном изображении. Река становится незаметной и это подтверждается на разрезе. Пик, характерный для отражения от водной поверхности, пропал. Сечение обратного рассеяния льда и суши, покрытой, снегом близки.



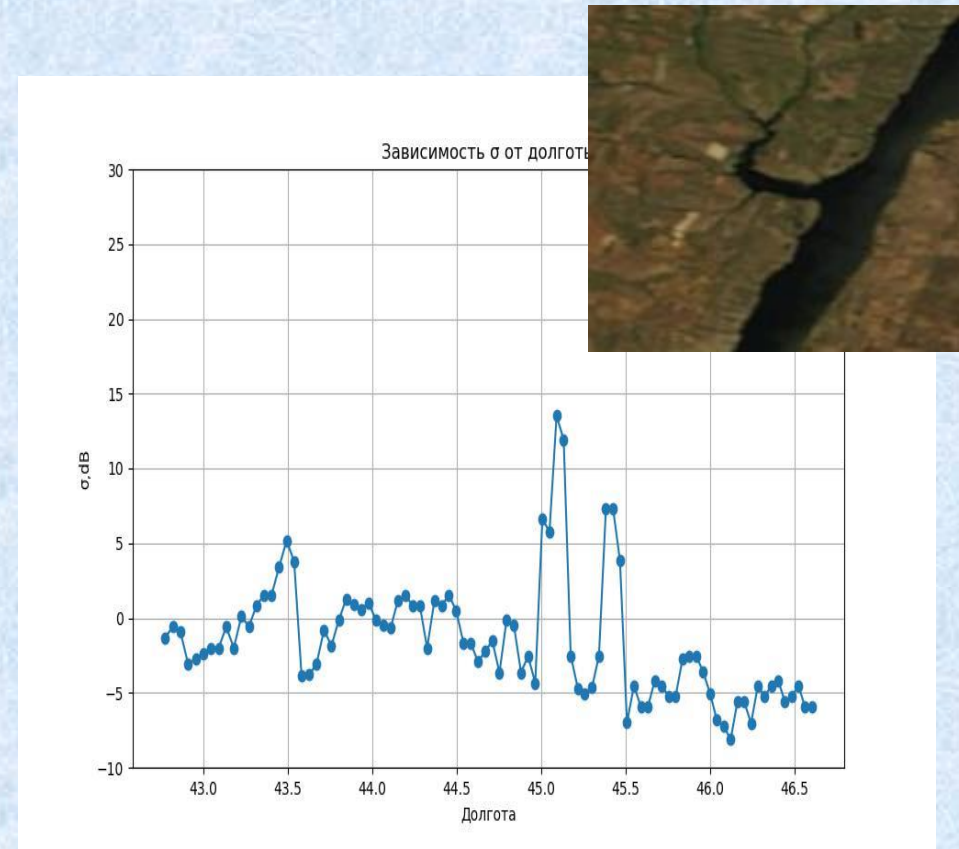
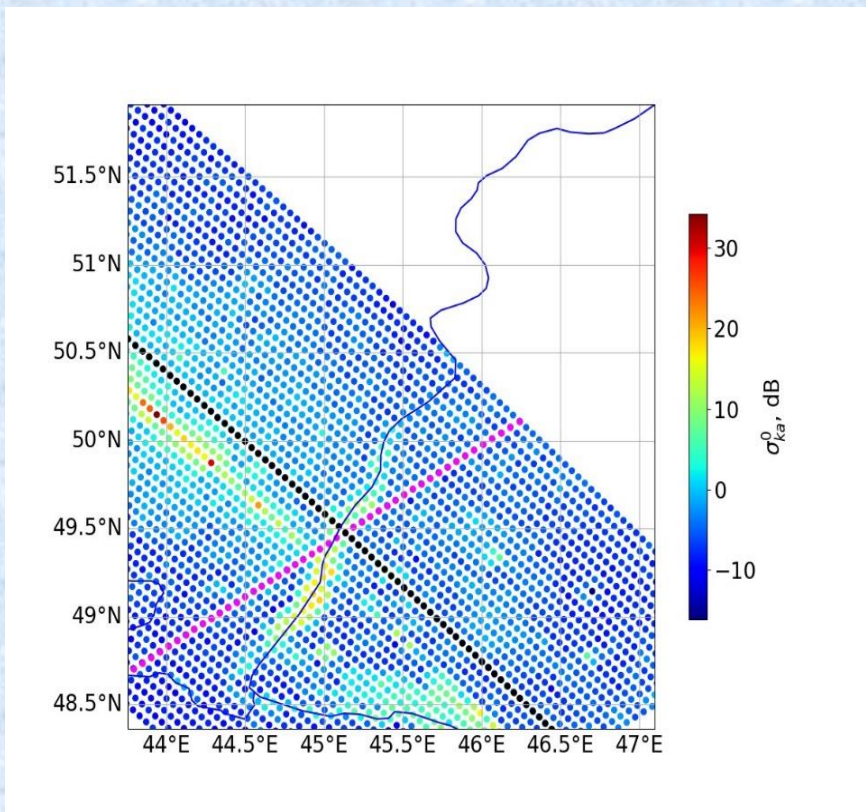
Радарное изображение
27.12.2021



Разрез радиолокационного
изображения (27.12.2021) для угла
падения 4°

Разрушение ледяного покрова

На протяжении всего «зимнего» периода река не выделяется на радиолокационном изображении. Сход снежного покрова также не повлиял на результат. Только после разрушения ледяного покрова река «проявляется» на радиолокационном изображении. На «разрезе» видно, что у Волги есть приток, который тоже проявился весной.



Радарное изображение и разрез для угла падения 4° (02.04.2022)

Заключение

Рассмотрены возможности мониторинга внутренних водоемов двухчастотным дождевым радиолокатором (DPR) и подтверждено предположение, что

- при малых углах падения в радиолокационном изображении поверхности можно обнаружить небольшие, по сравнению с пятном засветки, внутренние водоемы, не имеющие ледяного покрова.
- при формировании ледяного покрова внутренний водоем «становится» незаметным на радиолокационном изображении.

Проведена обработка данных для выбранного полигона на р. Волга (между г. Саратов и г. Волгоград) и показано, что использование данных DPR позволяет определять время формирования и разрушения ледяного покрова на внутренних водоемах.

Длительность существования ледяного покрова на внутренних водоемах является одним из индикаторов происходящих климатических изменений и по данным DPR можно определять этот параметр.