

Эксперимент на Нижегородской канатной дороге: первые результаты



*ЕПАНОВА К.С. (1), ПОНУР К.А. (1), КАРАЕВ В.Ю. (1), ТИТЧЕНКО Ю.А. (1),
МЕШКОВ Е. М. (1), ЛЕБЕДЕВ И. Ю. (1)*

(1) ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РАН, НИЖНИЙ НОВГОРОД, РОССИЯ

Если Вас интересуют экспериментальные данные, можете связаться со мной:

epanovaksenya2001@mail.ru

Введение

Дистанционный мониторинг площади ледяного покрова является актуальной задачей и на ее решение направлены усилия исследователей из разных стран. Для этого используется измерительная аппаратура, установленная на спутниках и работающая в разных частотных диапазонах: оптические и ИК сенсоры, микроволновые радиометры и радиолокаторы. Разработанные алгоритмы применяются для обработки данных и классификации типа подстилающей поверхности.

При использовании радиолокационных данных анализируется мощность отраженного сигнала. Однако при отражении электромагнитного излучения происходит изменение не только сечения обратного рассеяния, но и спектральных характеристик, поэтому измеренный доплеровский спектр может стать эффективным инструментом для классификации типа подстилающей поверхности. В данной работе был использован импульсный радиолокатор X-диапазона (длина волны 3,2 см), разработанный в АО «Микран» по заказу ИПФ РАН.

Прибор

Импульсный радиолокатор X-диапазона
Длина волны 3,2 см



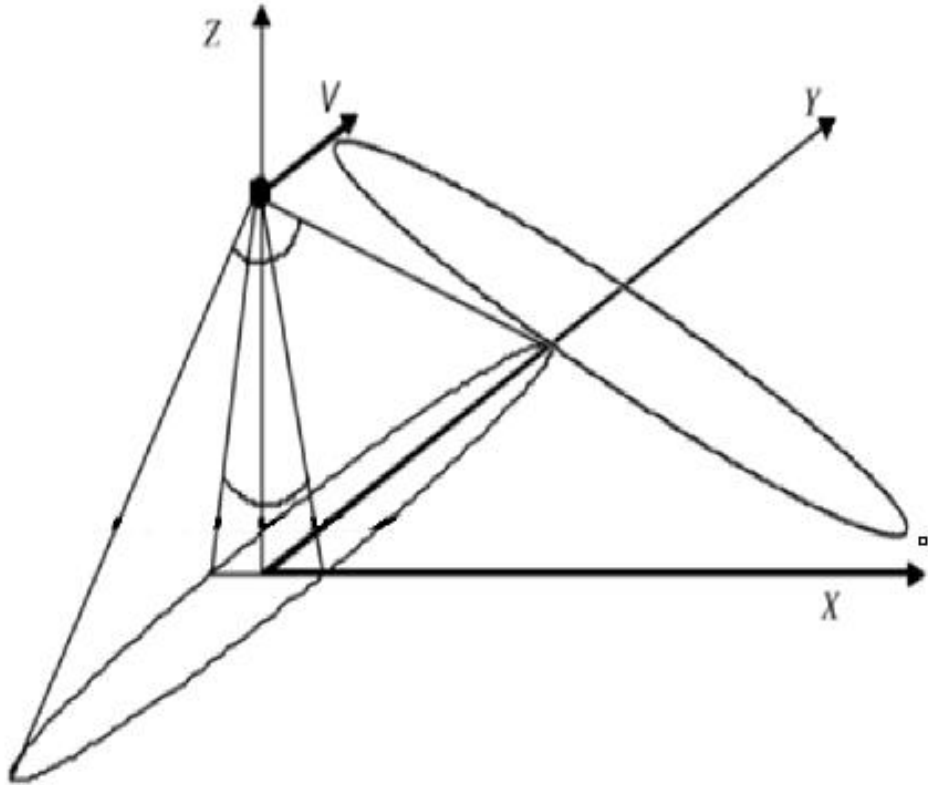
Измерения в «радиовысотомерном» и «доплеровском» режимах выполнялись в цикле общей длительностью 10,285 с (0,285 с и 10 соответственно). Несущая частота радиолокатора 9,2-9,5 ГГц (девиация примерно 300 МГц), диаграмма направленности антенны $30^\circ \times 3,6^\circ$, длительность импульса 100 мкс

Технологическая тележка с установленным радиолокатором



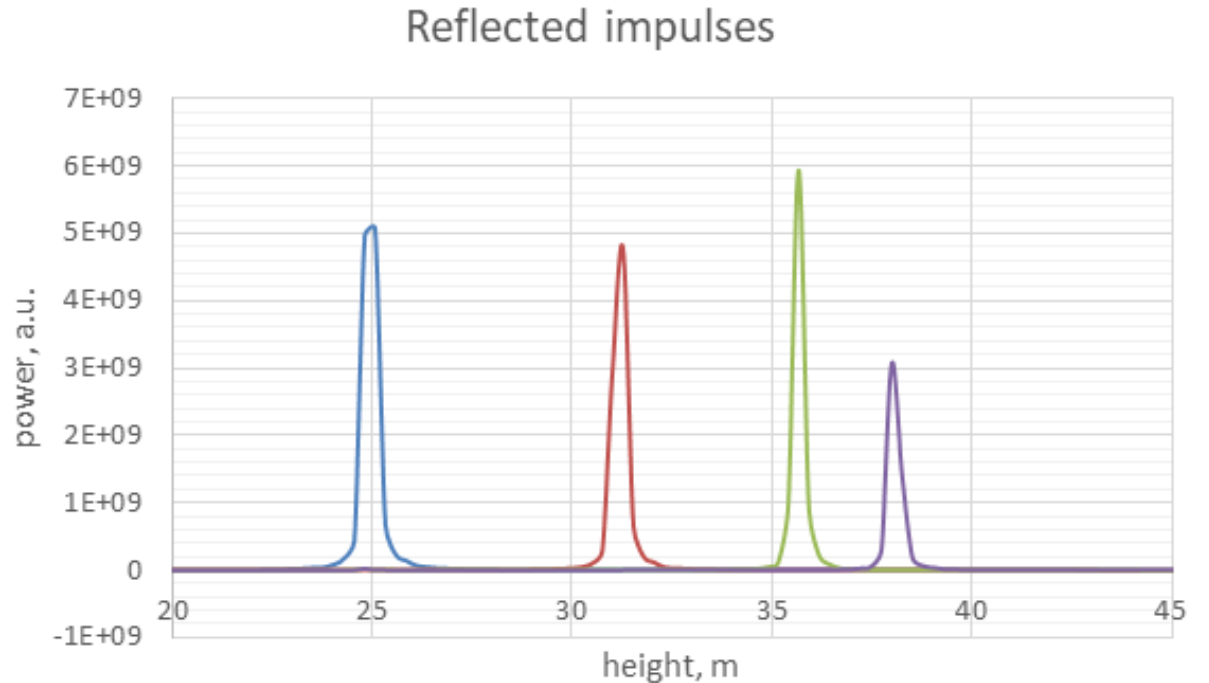
Для измерения положения технологической тележки и скорости движения использовался геодезический GNSS приемник, который измерял координаты технологической тележки с частотой 1 Гц и с точностью 2-4 см. В процессе обработки вычислялись три компонента скорости движения и высота тележки относительно уровня моря.

Схема эксперимента



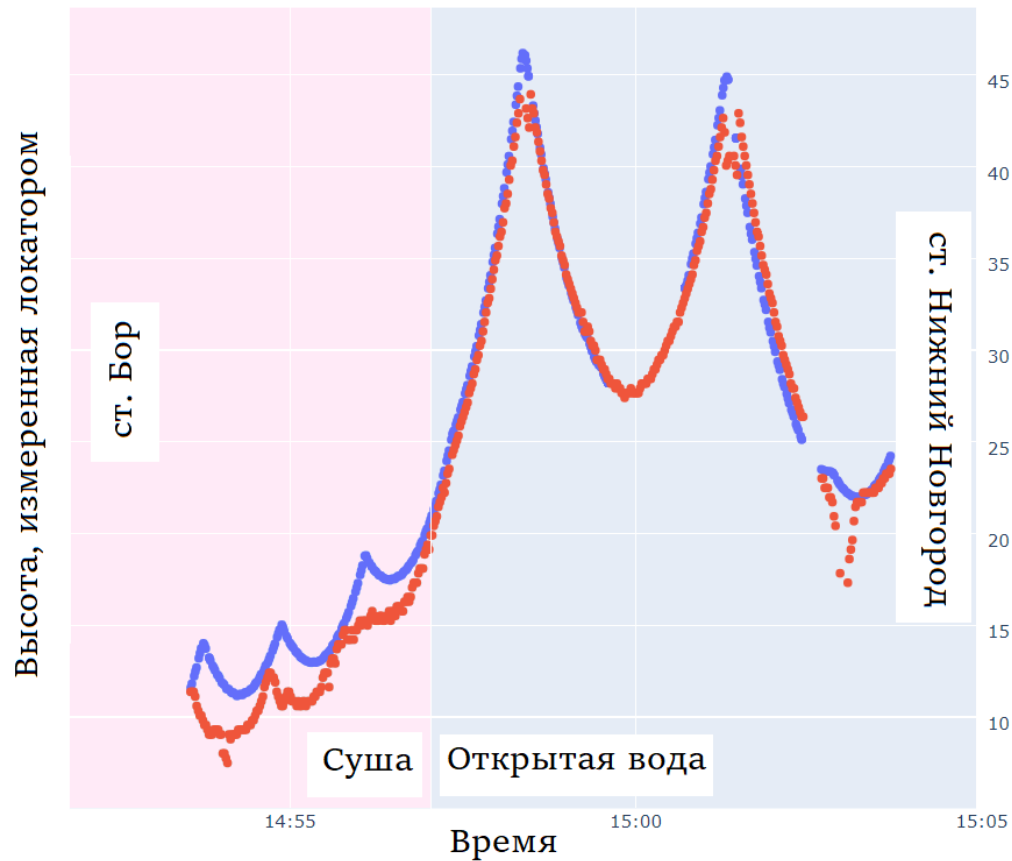
Зондирование выполнялось вертикально вниз, и измерения были проведены для двух ориентаций ножевой диаграммы направленности антенны: вдоль и поперек направления движения.

Расстояние до поверхности определяется по времени прихода максимума отраженного импульса. Можно восстановить зависимость расстояния от прибора до подстилающей поверхности от времени.



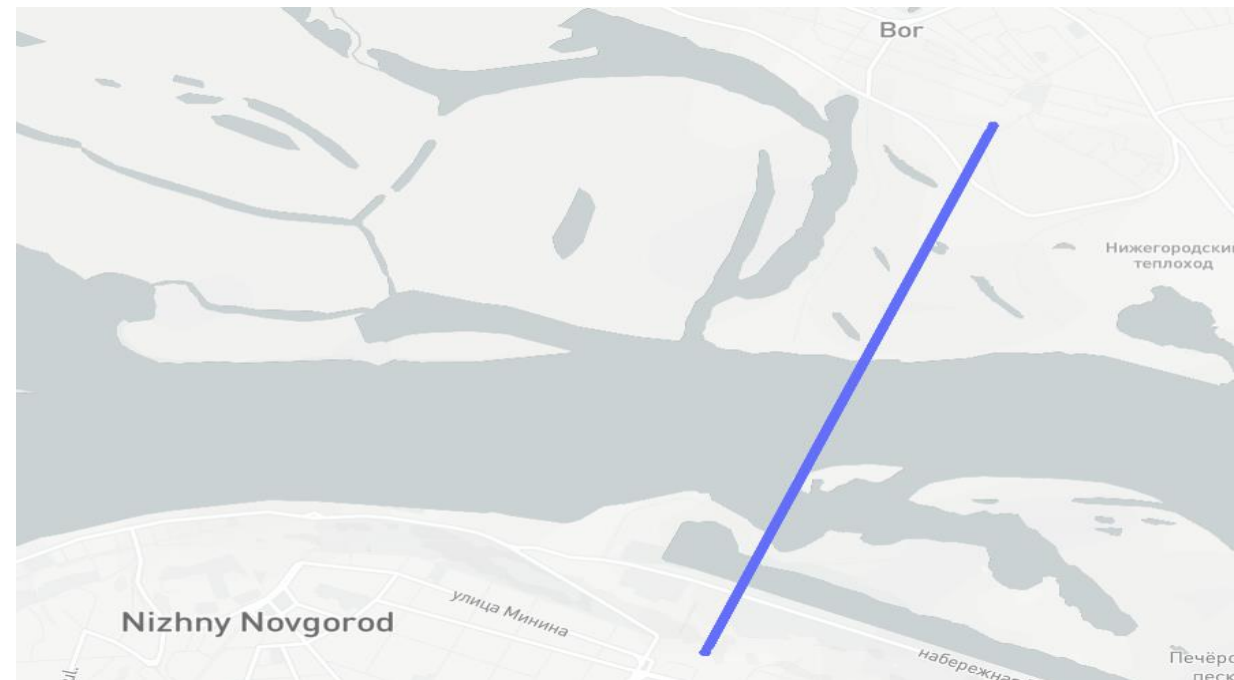
Примеры средних отраженных импульсов при движении технологической тележки по реке Волге (открытая вода).

Место проведения эксперимента



В ходе каждого эксперимента выполнялось три полных круга на канатной дороге, в ходе которых менялись ориентация антенны относительно движения РЛС и режимы работы.

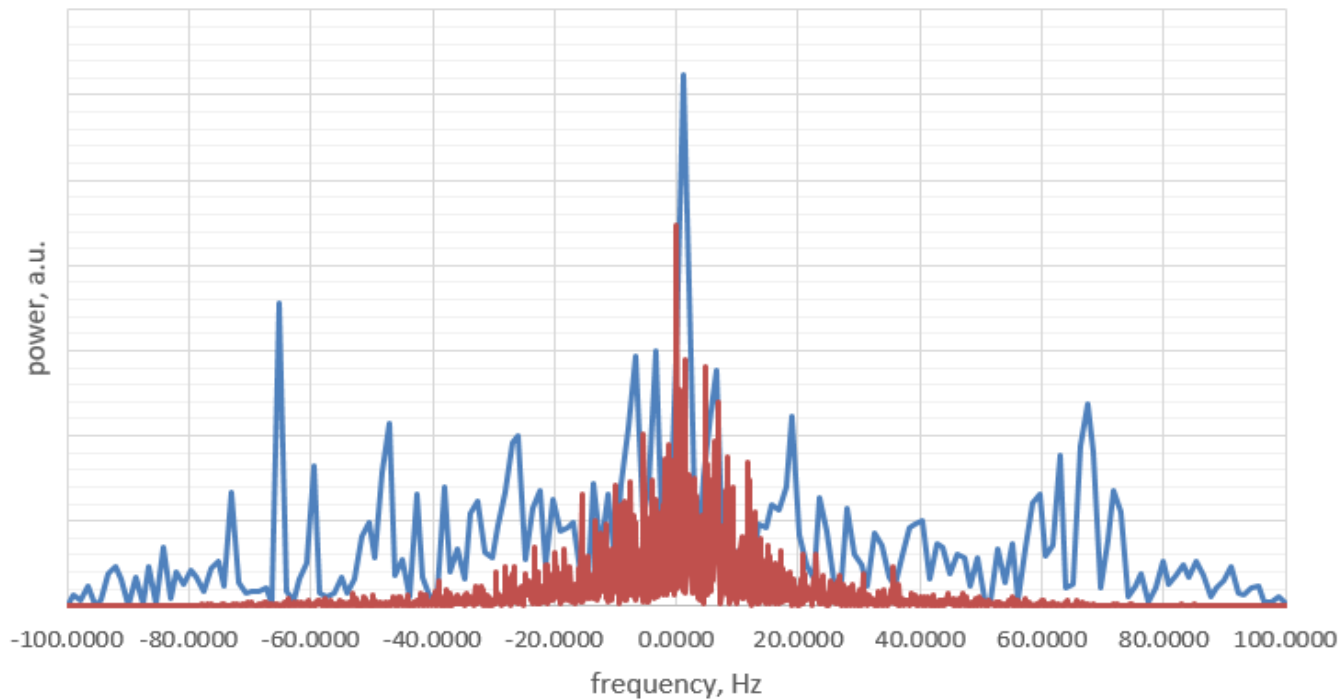
Продолжительность круга около 30 минут. На рисунке синей кривой приведено изменение высоты технологической тележки, измеренное с помощью приемника GNSS, и красные точки – данные в режиме радиовысотомера.



Канатная дорога показана на рисунке прямой. Ширина основного русла р.Волга в этом месте более 500 м.

Обработка экспериментальных данных

Doppler spectrum



Доплеровский спектр над водной поверхностью шире, чем над ледяным покровом. Это объясняется тем, что дисперсия уклонов воды больше, и отраженный сигнал собирается с большей площади и интервал углов падения, участвующих в формировании сигнала, будет больше.

Для получения первых оценок были выбраны участки траектории, где вертикальная компонента скорости была близка к нулю.

	Синяя кривая	Красная кривая
Дата проведения эксперимента	02.12.2021	17.02.2022
Время записи	09:22:24	14:35:21
Параметры сигнала	$\Delta F = 15\text{МГц}$, $T = 10\text{с}$	$\Delta F = 15\text{МГц}$, $T = 10\text{с}$
Подстилающая поверхность	Открытая вода, р. Волга	Лёд, р. Волга
Ориентация антенны	Вертикально вниз, по направлению движения тележки	Вертикально вниз, по направлению движения тележки
СКО	48,7 Гц	21,9 Гц

Обработка экспериментальных данных

В упрощенном варианте ширина доплеровского спектра, измеряемого с движущегося носителя, зависит от дисперсии уклонов:

$$\Delta F_{20} \sim V_{rad} \cos \theta_0 \sqrt{\frac{\delta_{\alpha}^2 mss_{yy}}{11,04 mss_{yy} + \delta_{\alpha}^2}}$$

Эксперимент подтвердил выводы, полученные при анализе свойств теоретической модели доплеровского спектра:

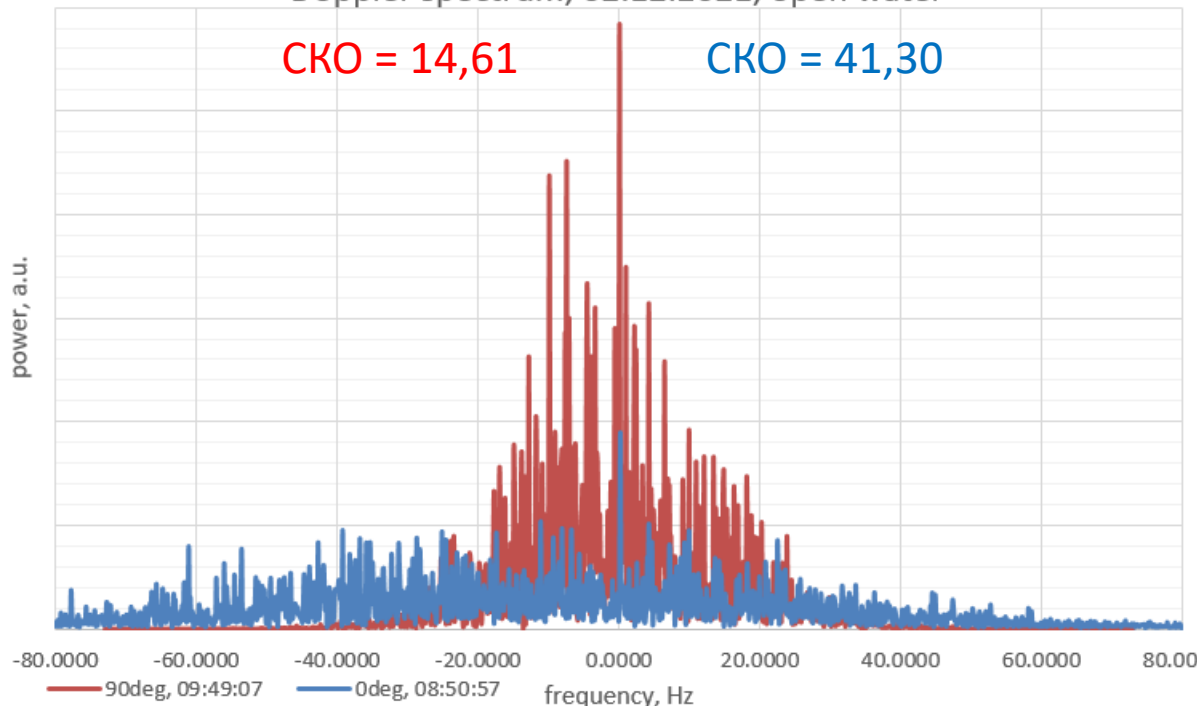
- Для узкой диаграммы направленности ширина спектра не зависит от дисперсии уклонов
- Для широкой диаграммы направленности появляется зависимость от дисперсии уклонов

[1] V.Karaev, Yu.Titchenko, M.Panfilova, M.Ryabkova, Eu.Meshkov, K.Ponur
Application of the Doppler spectrum of the backscattering microwave signal for monitoring of ice cover: a theoretical view
Remote Sens. 2022, 14(10), 2331; <https://doi.org/10.3390/rs14102331>

Doppler spectrum, 02.12.2021, open water

CKO = 14,61

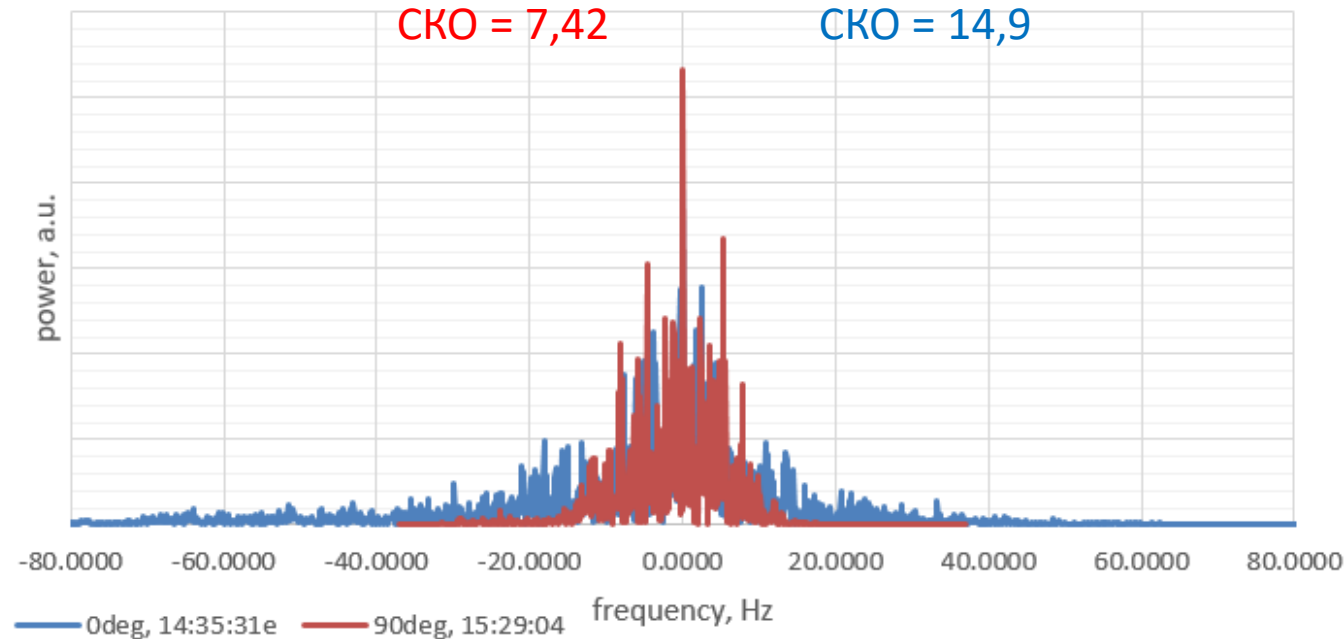
CKO = 41,30



Doppler spectrum, 17.02.2022, ice

CKO = 7,42

CKO = 14,9



Вывод

Таким образом, доплеровский спектр является эффективной характеристикой отраженного радиолокационного сигнала для определения типа рассеивающей поверхности.

Первые результаты обработки данных эксперимента подтвердили выводы, полученные при анализе свойств теоретической модели. При переходе от открытой воды ледяному покрову ширина доплеровского спектра уменьшается, следовательно, по ДС ней можно определить тип подстилающей поверхности.

Также в ходе эксперимента менялся угол поворота ножевой диаграммы направленности относительно направления движения, и экспериментальные данные показали, что для узкой диаграммы направленности антенны (ориентация ДН равна 90 градусов относительно направления движения) ширина доплеровского спектра не зависит от дисперсии уклонов (типа подстилающей поверхности), а при повороте антенны на 90 градусов (широкий раскрыв ДН антенны вдоль направления движения) ширина доплеровского спектра чувствительна к типу подстилающей поверхности.

Исследование будет продолжено, и используя данные GNSS приемника о скорости движения будет проведено количественное сравнение модели доплеровского спектра с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-05-00462а) и в рамках госзадания ИПФ РАН 0030-2021-0006

