Представляется работа «Детектирование ледяного покрова по данным двухчастотного радиолокатора». Работу выполнил студент 3-го курса бакалавриата Шиков Александр, научный руководитель Панфилова Мария Андреевна.

**Слайд 2 - Введение**

Мониторинг ледяного покрова является важной задачей для решения как научных так и практических проблем. Он широко применяется в мореходстве, предсказании изменений климата и погоды, а также для решения различных фундаментальных задач. Спутниковое наблюдение обладает огромными возможностями и потенциалом в реализации мониторинга интересующих областей.

**Слайд 3**

Сегодня активно используется оптический диапазон, чувствительный к облачности, пассивные методы радиометрии – радиометры, и активные методы, такие как радары с синтезированной апертурой и альтиметры. Однако исследованиями практически не охвачены диапазоны малых и средних углов падения от 0 до 20 градусов.

Данная работа посвящена исследованию методов детектирования льда по данным для малых и средних углов падения.

**Слайд 4 - GPM : DPR - Спутник**

Спутник миссии global precipitation measurements, оборудованный двухчастотным радаром и радиометром, изначально запускался с целью обнаружения осадков. Однако в ходе нескольких исследований, было показано, что двухчастотный радар чувствителен не только к осадкам, но и к типу отражающей поверхности. Радар излучает надирно к поверхности земли на частотах 13.6 и 35 ГГц с максимальным отклонением до 18°. Ширина полосы обзора составляет 245 км, со средним разрешением 5 км.

**Слайд 5 – GPM : DPR - Данные**

В работе в качестве примера рассматривалось Охотское море.

Здесь приведен пример визуализации данных, полученных со спутника. Данные наложены на карту, а также приведен оптический снимок за ту же дату. Цветом характеризуется величина сигнала – УЭПР в децибелах. (**слайд**) На снимке видно, что есть прибрежная область, покрытая льдом, и через которую проходит трек спутниковых данных.

**Слайд 6 – GPM : DPR - Срезы**

Возьмем эту область, и будем рассматривать угловые зависимости поперечных разрезов для разных типов поверхности. Здесь эти разрезы приведены на графике справа, и можно заметить, что наблюдается существенная разница между зависимостями для льда и воды. Лед, относительно водной поверхности, имеет большие значения при малых углах падения и малые значения при больших углах.

**Слайд 7 – Постановка задачи**

Была сформулирована основная задача: имея значение УЭПР для поперечного среза, нужно определить, является ли облучаемый участок поверхности льдом, или нет. В частности, возникли некоторые подзадачи, это:

1. Анализ угловой зависимости сигнала для льда
2. Обнаружение границ ледяного покрова
3. Валидация полученных результатов по существующим картам

**Слайд 8 - Карты – Планета**

Для валидации и исследования в работе использовались размеченные карты НИЦ «Планета», содержащие полигоны областей, и информацию о них. Зная полигоны, в которых находится точка, мы сможем разметить наши данные для валидации после работы алгоритма. Также для проверки использовались данные с радиометра, расположенного на том же спутнике.

**Слайд 8 - Теория – Квазизеркальное приближение**

Рассмотрим с точки зрения теории, какую УЭПР должна иметь поверхность воды. Вводится двух масштабная модель морской поверхности – крупное волнение и мелкая рябь. Используется квазизеркальное приближение, в котором поверхность разбивается на фасеты, и при отражении, вклад вносят только площадки, расположенные перпендикулярно к вектору падающей волны. Для воды зависимость сечения рассеяния от угла падения пропорциональна плотности распределения зеркальных площадок P(tan th), где θ - угол падения.Для водытакая плотность имеет вид нормального распределения.

Для анализа угловых зависимостей льда будем использовать плотность распределения зеркальных площадок, получая его через обратные вычисления.

**Слайд**

Рассмотрим подробнее угловую зависимость для льда.

Здесь приведены угловые зависимости УЭПР, собранные для некоторых сканов за период с января по март для 2017 года.

Как уже отмечалось, у льда зависимость имеет выделенный пик. Это связано с тем, что при околонулевом падении сигнала отражение происходит практически квазизеркально, и при увеличении угла характер меняется на диффузный. При нулевом угле лед отражает большую энергию по сравнению с водой, так как на воде присутствует волнение и перпендикулярных к падению сигнала площадок меньше, чем у льда. С ростом угла количество перпендикулярных площадок во льду резко падает, и он приобретает характер диффузного рассеяния. Таким образом, зависимость УЭПР для льда выглядит как резкий пик. Для описания характерной формы распределения, наряду с дисперсией можно использовать коэффициент эксцесса, который показывает, насколько выделенный пик имеет распределение.

**слайд**

Коэффициент эксцесса гамма 2 считается через четвертый центральный момент и дисперсию, при этом для гауссового распределении, характерном для воды, этот коэффициент равняется нулю.

Для льда же, с сильно выделенным пиком, коэффициент эксцесса может быть не только не нулевым, но и достаточно большим, что позволяет отличить лед при поперечном сканировании.

**слайд**

Для расчета коэффициента эксцесса плотности распределения, при известных значениях сигма\_0 и угла, были проведены необходимые пересчеты величин, а также учтена нормировка плотности вероятности.

**Слайд**

Рассчитанный коэффициент эксцесса для всего трека приведен на верхнем графике. Явно виден скачок значений эксцесса в области, где географически расположен лед. Также можно отметить, что коэффициент эксцесса у воды практически нулевой, что совпадает с теорией.

**Слайд**

Чтобы проверить, что полученная область совпадает с областью льда, производится сравнение по картам Планеты, проверив нахождение точек внутри полигонов. Цветом здесь на левом графике представлена величина коэффициента эксцесса, и синим обозначены границы полигонов, содержащих лед. Как можно видеть, в грубом приближении было получено примерное расположение ледяных массивов.

**Слайд 10 – Исследование – Границы**

Один из способов уточнить грубое приближение, это нахождение границы ледяного покрова.

Для определения границ необходимо детектировать скачки сигнала. Здесь приведены зависимости УЭПР от продольной координаты для разных углов. Для того, чтобы выявить местонахождение скачка использовался алгоритм Джона Кэнни для одномерного случая.

**Слайд 11 – Исследование – Границы**

Рассмотрим для примера нулевой угол падения. Сам метод заключается в произведении двух сверток сигнала и функции-детектора, результат которых здесь обозначен как S. В качестве функции-детектора выступала вторая производная от Гауссового распределения. Локальные максимумы функции S, соответствуют скачкам сигнала, или в нашем случае, переходам между различающимися по характеру рассеивания поверхностями. Например здесь, первый максимум отвечает за переход земля-лед, а второй, слабее – за переход лед-вода.

Используя такой подход обнаружения границ, размечался каждый продольный скан исследуемого трека.

**Слайд**

Создав карту границ и карту расположения льда, мы можем совместить их, для получения лучшего результата. Например, мы можем заполнить ограниченную область, в соответствии с ее содержанием. Т.е. если в ограниченной области находится преимущественно лед, то мы можем, учитывая, что никаких скачков и перепадов там не происходило, заполнить всю область льдом, и получить более правдоподобную разметку.

**Слайд**

Имея размеченные треки, мы можем сравнить их с картами планеты и с данными радиометра, расположенного на том же спутнике.

Наблюдается совпадение в общих чертах, однако не все детали были захвачены. В основном это пропуски могут происходить при попадании на срез нескольких типов поверхности. Все вышеописанные методы в таком случае работают на несколько порядков хуже, или не работают вовсе.

Чтобы детектировать лед в таких ситуациях, нужно рассматривать каждую точку отдельно, привлекая, например машинное обучение.

**Выводы**

В результате нашей работы был разработан алгоритм, позволяющий детектировать расположение ледяного покрова, используя данные двухчастотного локатора спутника GPM для определения типа поверхности и границ.

Из очевидных недостатков, это неточная работа алгоритма при попадании на срез нескольких типов отражающей поверхности, потому что в таком случае считать коэффициент эксцесса не имеет смысла.

Существуют возможности улучшить работу алгоритма, например, используя половину полосы спутника, ввиду симметрии относительно угла. Также, как уже было сказано ранее, возможно привлечь машинное обучение для решения задачи классификации.