Здравствуйте, меня зовут Александр, и сегодня я расскажу о наших наработках в области детектирования ледяного покрова на поверхности моря, используя данные двухчастотного радиолокатора.

**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**

Это может быть оптическое наблюдение, например в ясную погоду лед хорошо виден с оптических снимков, однако во время облачности этот способ по понятным причинам не подходит.

Помимо оптики, используются пассивные методы радиометрии – радиометры, и активные методы, такие как РСА и альтиметры. Однако исследованиями практически не охвачены, за исключением альтиметра, диапазоны малых и средних углов падения от 0 до 20 градусов.

Наша работа посвящена исследованию методов детектирования льда по данным для малых и средних углов падения. Будут представлены методы использования данных спутника GPM, имеющего на борту двухчастотный радар.

**Слайд 4 - GPM : DPR - Спутник**

Спутник миссии global precipitation measurment, 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**

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**

Мы можем взять эту область, и посмотреть какую угловую зависимость имеют срезы для разных типов поверхности. Здесь эти срезы приведены на графике справа, и можно заметить, что наблюдается существенная разница между зависимостями для льда и воды. Лед имеет большие значения при малых углах падения и малые значения при больших, в то время как вода имеет достаточно плавное распределение.

**Слайд 7 – Постановка задачи**

Зная, что поперечный срез льда имеет характерные отличия от воды, была сформулирована следующая 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. и
4. Валидация полученных результатов по существующим картам и измерениям радиометра.

**Слайд 8 - Карты – Планета**

Для валидации и исследования в работе использовались размеченные карты НИЦ «Планета», содержащие полигоны областей, и информацию о них. Зная координаты точки, ее значение УЭПР и угла падения, а также полигона, в который она попадает, мы сможем разметить наши данные для валидации после работы алгоритма. Также для валидации использовались данные с радиометра, расположенного на том же спутнике. Однако для того, чтобы делать валидацию, нужно сначала сделать алгоритм, к чему мы и переходим.

**Слайд 8 - Теория – Квазизеркальное приближение**

Если рассматривать с точки зрения теории, какую УЭПР должна иметь поверхность, например, воды, то наблюдаемое на практике распределение достаточно хорошо описывается квазизеркальным приближением, в котором поверхность разбивается на фасеты, и при отражении, вклад вносят только площадки, расположенные перпендикулярно к вектору падающей волны. Для воды было проведено много теоретических исследований и экспериментов, в которых получено, что 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.

*(А – эффективный коэффициент отражения, на величину которого влияет наличие мелкой ряби)*

Из этого приближения можно получить первый способ детектирования льда – найти подходящую плотность вероятности, и смотреть, насколько хорошо каждый срез совпадет с этой плотностью.

**Слайд**

Рассмотрим подробнее угловую зависимость для льда.

Здесь приведены зависимости УЭПР в дэцибеллах от угла, собранные для некоторых сканов за период с января по март для 2017 года.

Как уже отмечалось, у льда зависимость имеет выделенный пик. Связано это с тем, что при околонулевом падении сигнала отражение происходит преимущественно 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. Чтобы формализовать явно выраженную пикообразность, и использовать это как численный классификатор, можно использовать коэффициент эксцесса.

**слайд**

Коэффициент эксцесса гамма 2 считается через четвертый центральный момент и дисперсию, при этом для гауссового распределении, характерном для воды, этот коэффициент равняется нулю, т.е. для сканов воды он должен быть, может не ноль, но очень мал.

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**

Нам нужен коэффициент эксцесса плотности распределения, при известных значениях сигма\_0 и угла. В результате некоторых пересчетов, мы можем, используя известные данные, а также нормировку плотности вероятности, рассчитать центральный момент, а значит, коэффициент эксцесса для каждого поперечного среза.

**Слайд**

Если мы теперь построим эксцесс для каждого среза трека, то подтверждаются оба наших предположения: коэффициент эксцесса для воды практически равен нулю, а для льда он значительно больше.

**Слайд**

Также мы можем проверить, что полученная область совпадает с областью льда, по картам Планеты, проверив нахождение точек внутри полигонов, или, визуально, наложив грубо размеченный трек на карту. Цветом здесь на двух верхних графиках представлена величина коэффициента эксцесса, и, красными обозначены границы полигонов, содержащих лед. Ну и как можно видеть, в некотором грубом приближении, мы получаем примерное расположение ледяных массивов.

**Слайд 10 – Исследование – Границы**

Один из способов уточнить наше грубое приближение, это найти 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 случай нулевого угла 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.

На чувствительность алгоритма влияет вид функции-детектора, или здесь, в частности, ширина гауссового распределения сигма. Важно, чтобы функция-детектор полностью убиралась в окно свертки, и при этом была достаточно, но не слишком чувствительна. Чем уже функция-детектор, тем на меньшие скачки она реагирует, из-за чего функция S может стать очень шумной. В работе был выбран оптимальный вариант соотношения ширины окна свертки и ширины функции, для наилучшего детектирования.

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

\*\*отметка про углы падения, где вода==лед

**Слайд**

Имея теперь карту границ и карту расположения льда, мы можем совместить их, для получения более точной картины. 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 данными радиометра, расположенного на том же спутнике, (слайд)а также с картами планеты.

Как видно, есть совпадение в общих чертах, но не обошлось и без пробелов. 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, можно попытаться использовать машинное обучение, для классификации поверхности в зависимости от уэпр, угла падения, и, например даты.

**Выводы**

**Ну и подведем итоги**

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 и производить аппроксимацию не имеет смысла.

В перспективе имеется план использования этих данных для попытки реализации машинного обучения, однако это отдельная тема, со своими проблемами и задачами, которые еще предстоит решить.

**Слайд 6 - Теория - УЭПР**

Перед тем как перейти непосредственно к алгоритму, разберемся что именно меряет радар?

Объект радиолокационного наблюдения можно охарактеризовать отношением напряженностей поля или плотностей потока мощности отраженной волны и зондирующего колебания.

В радиолокации классической характеристикой отражения сосредоточенной цели является *эффективная площадь*, или эффективная площадь рассеяния:

Где П1 – плотность потока мощности падающей волны вблизи цели, а П2 – плотность потока мощности отраженной волны, принятой РЛС. (Множитель 4piR^2 сделан для того, чтобы исключить зависимость отношения плотностей потока от расстояния.)

ЭПР сильно зависит от формы, ориентации и материала облучаемого объекта. В нашем случае, когда тело имеет большие размеры, имеет смысл ввода элементарной площадки S, и говорить не об эффективной площади, но об удельной эффективной площади рассеяния, обозначаемой σ­0 :

(Где угол θ – угол между направлением распространения и нормалью к площадке S.)