



Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ  
КОСМОСА»  
Москва, 16 - 20 ноября 2020 г.



## **АТЛАС РСА СИГНАТУР ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ: ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ**

**Мелентьев В.В. (1), Черноок В.И. (2), Мелентьев А.В. (2), Мателенок И.В. (1), Смирнова А.С. (1)**

(1) Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

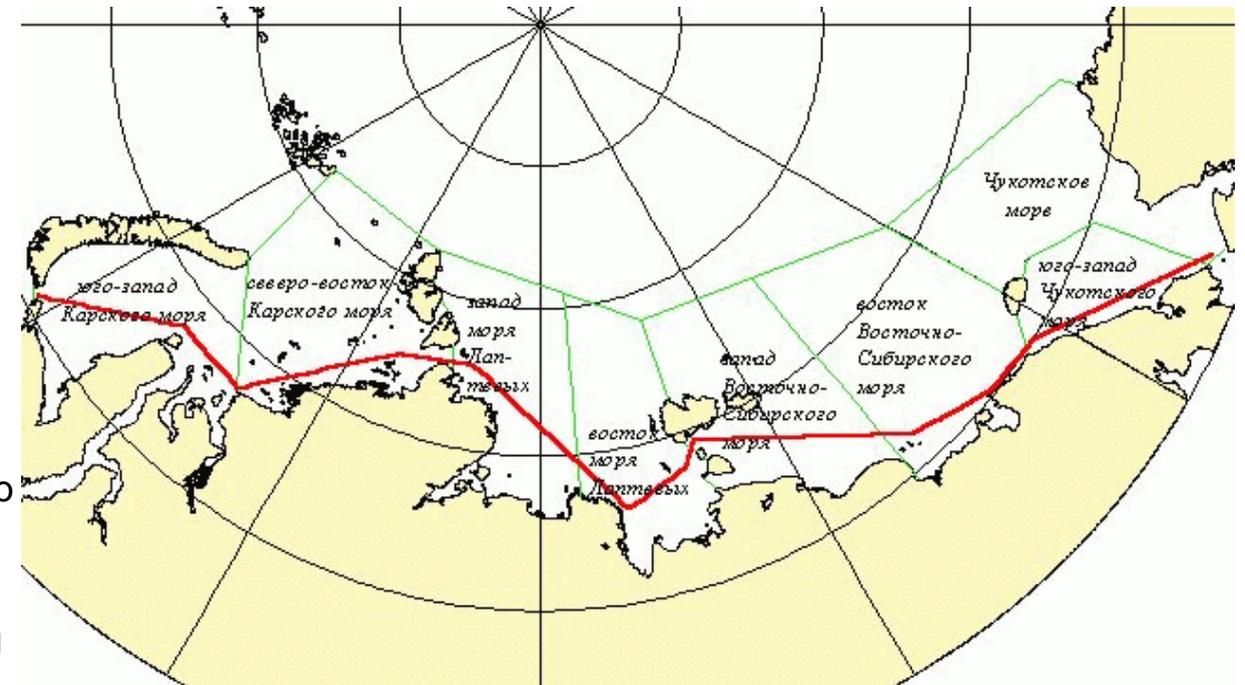
(2) АНО «Экофактор», Санкт-Петербург, Россия

\*при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
соглашение № FSRF-2020-0004

Цель: информационная поддержка принятия решений по обеспечению безопасности ледового плавания на основе данных всепогодной съемки установленными на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) радарными с синтезированной апертурой (РСА).

Задачи:

- 1) Создание архива РСА данных, демонстрирующих основные процессы и закономерности формирования, преобразования и разрушения ледяного покрова вдоль трасс плавания в Российских арктических морях;
- 2) Выявление ледовых условий, представляющих опасность для движения судов, в ходе дешифрирования РСА данных и их экспертной оценки с привлечением дополнительной информации;
- 3) Составление Атласа РСА сигнатур ледяного покрова и включение в него изображений, демонстрирующих типичные и экстремальные ситуации состояния льда вдоль трассы Северного морского пути (СМП).



Стандартные трассы плавания в Российских арктических морях (по данным <http://esimo.oceanography.ru/>)

Используются данные с РСА ИСЗ Envisat-1, Sentinel-1

Настоящая работа следует концепции «эколого-криминалистического мониторинга»

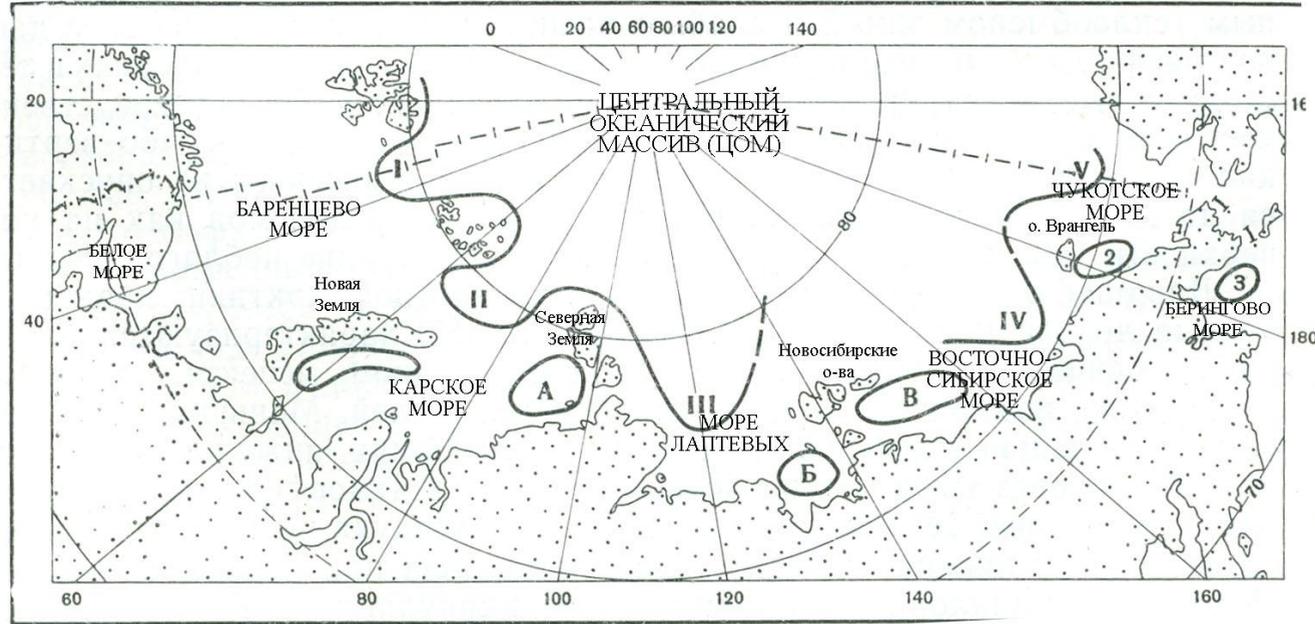
## По данным РСА съемки:

 удастся восстановить картину развития событий в случае возникновения чрезвычайных происшествий (ЧП) на море;

 предложить оптимальную схему устранения ЧП, существенно ускорив этот процесс.



- прекращение движения судна во льдах,
- возникновение наведенных движением судна подвижек льда,
- навал льда на борта судна сопровождения и необходимость «обколки» застрявшего во льдах судна и сам процесс ее производства,
- «старение» судового канала и т.п.



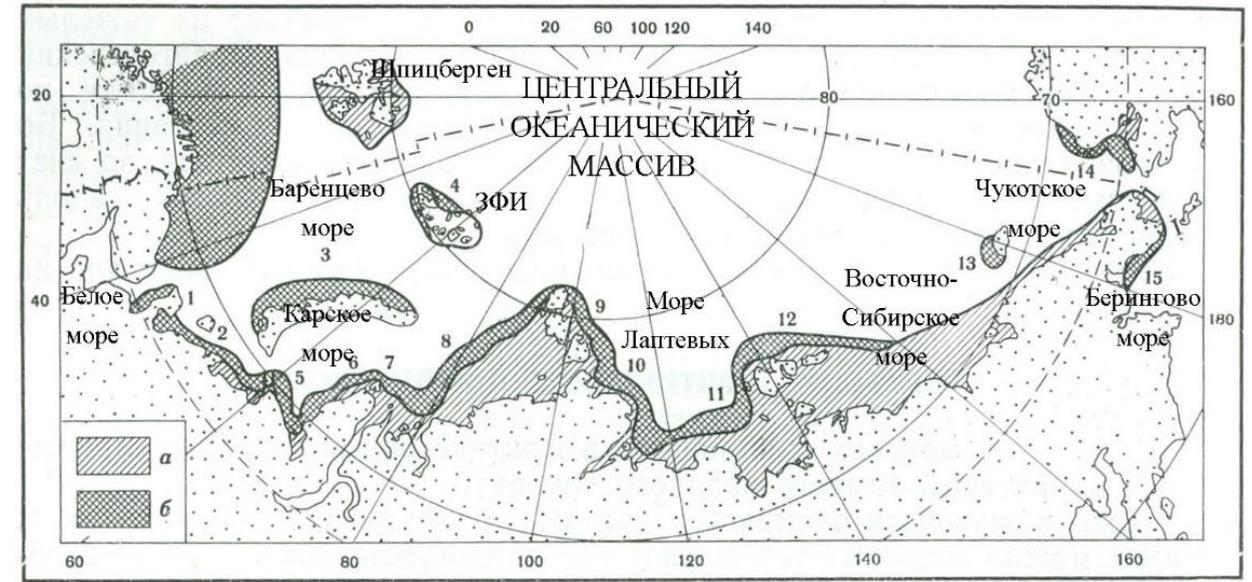
## Ледяной покров летом

Отроги океанических массивов:

I – Шпицбергенский, II – Карский, III – Таймырский, IV – Айонский, V – Чукотский.

Локальные массивы дрейфующих льдов: 1 – Новоземельский, 2 – Врангелевский, 3 – Анадырский.

Локальные массивы припайных льдов: А - Североземельский, Б – Янский, В – Новосибирский.



## Ледяной покров зимой

а) припай,

б) полыньи:

1 – Чешская, 2 – Печорская, 3 – Западно-новоземельская, 4 – моря Виктории, 5 – Амдерминская, 6 – Ямальская, 7 – Обь-Енисейская, 8 – Западно-североземельская, 9 – Восточно-североземельская, 10 – Таймырская, 11 – Ленская, 12 – Новосибирская, 13 – Заврангелевская, 14 – Аляскинская, 15- Анадырская

## Образование заберегов (young coastal ice)

Интенсивность процесса зависит:

- от контраста температуры воды и воздуха,
- глубины водоема,
- минерализации водных масс в прибрежной зоне.

Первоначальная стадия процесса образования - формирование внутриводного льда:

взвешенные в воде тонкие иглы и пластинки льда (frazil ice), образование которых создает уярчение радиосигнала и поэтому фиксируется спутниковыми РСА.

На следующем этапе развития процесса происходит консолидация скоплений игл и пластинок в единую вязкую пластическую массу. Его опасность связана с высокой вероятностью возникновения обледенения судов, оказавшихся в областях сплочения и консолидации внутриводного льда. На палубе и надстройках происходит отложение большого количества льда, ухудшаются мореходные качества, повышается центр тяжести конструкции, увеличивается ее парусность, что во время шторма зачастую приводит к потере устойчивости, внезапному опрокидыванию и гибели.



Процесс образования внутриводного льда в прибрежной части Баренцева моря (район Варангер-фиорда).  
Envisat-1 ASA\_IMM, 03 ноября 2010 08.32 Н-Н  
Descending orbit.

## Образование заберегов и внутриводного льда (зоны А, В) в Мезенской Губе Белого моря.

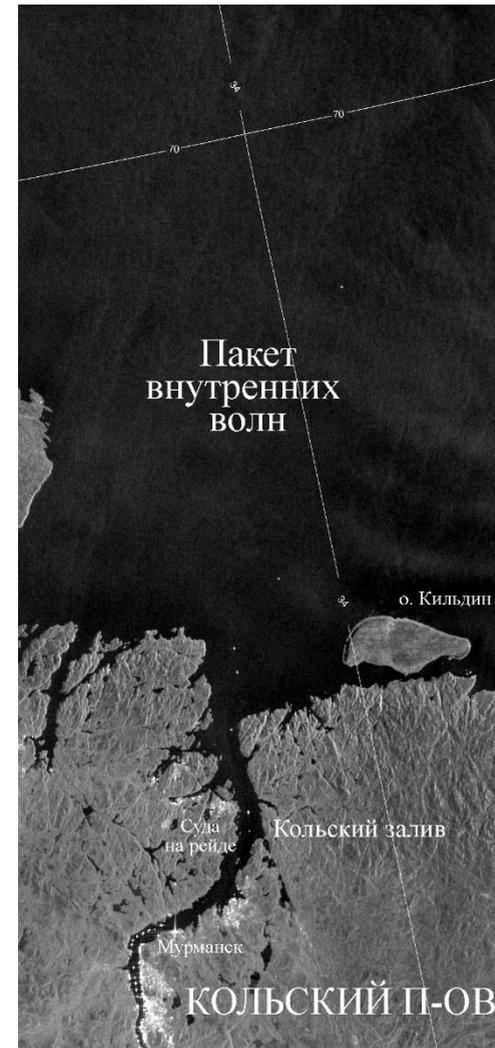


**Зона В** – область сгущений внутриводного льда, сформировавшихся на отраженных ветровых и приливных волнах повторяющих очертания Конушинского берега Белого моря,

**зона D** – подошва припая.

Envisat-1 ASA\_IMM  
25 ноября 2007 г., 18.04 GMT,  
V-V, Ascending orbit

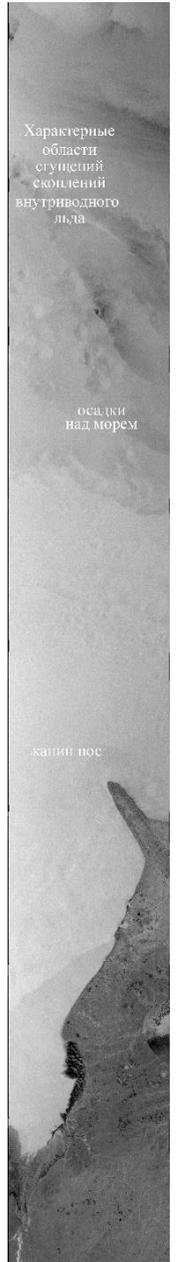
## Пакет внутренних волн, маркирующих образование зон скоплений внутриводного льда, сформировавшихся к северу от Кольского п-ова.



Яркие белые точки - надводные суда различного водоизмещения, находящиеся на рейде и выходящие за пределы Кольского залива.

Envisat-1 ASA\_IMM  
6 декабря 2011 г. 08.22 GMT.

## Зоны сгущений внутриводного льда в открытой части Баренцева моря, повторяющие очертания берегов на внешней границе п-ова Канин.



Осадки над морем фиксируются в виде характерных ячеистых структур.

Envisat-1 ASA\_IMM 25 ноября.2007 г., 18.04 GMT

## Центральный Океанический Массив и его Шпицбергенский отрог



**Начальные виды льда**, формирующиеся на распресненных водах образовавшихся в период летнего таяния льда и снега.

**Ледяное сало** (Grease ice): следующая стадия замерзания ледяных игл, когда, сгущаясь, кристаллы льда образуют на поверхности моря густой слой.

Ледяное сало выглаживает границу раздела вода-воздух - темный тон РСА сигнатуры.

**Нилас**: тонкая эластичная корка льда толщиной до 10 см, легко прогибающейся на волне и зыби и при сжатии образующей зубчатые наслоения. Нилас подразделяется на темный (Dark nilas): до 5 см толщиной и светлый нилас (Light nilas), имеющий толщину более 5 см и более светлый цвет.

Оба этих вида льда имеют высокую соленость и пропитаны морской водой, которая и создает темный цвет радиосигнала на РСА изображениях.

**Процесс  
ледообразования на  
морских, осолоненных и  
пресных водах.**

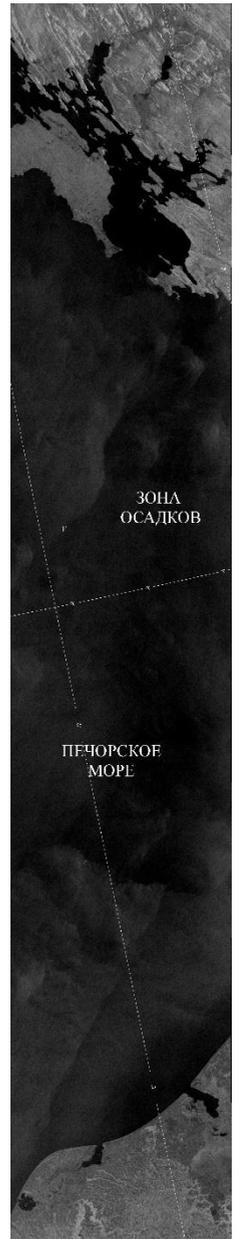
**Печорская Губа  
Печорского моря.**



Envisat-1 ASA IMM  
20 сентября 2010 г., 07.04 GMT,  
V-V, Descending orbit.

**Печорское море - осадки над морем  
в виде снега и образование  
внутриводного льда**

**Образование снежуры (Slush) -  
пропитанного водой снега,  
представляющего собой вязкую  
массу, создающую белую засветку  
радиосигнала.**



Envisat-1 ASA IMM  
08.12. 2011 07.08 GMT, H-H

## Ледовая река

- ускоренное движение начальных видов морского льда под воздействием ветра и течений со скоростями 7-10, и даже 10-12 узлов (то есть 7-8 м/с), когда даже атомный ледокол оказывается в предельной критической ситуации, теряя возможность управления судном.



Заброс распресненных вод и льда из Печорского моря в Карское море и образование на выходе из пролива Карские Ворота огромных зон спрессованного льда, с трудом преодолимыми даже современными ледоколами.



Фиксируются РСА съемкой в виде грибовидных и дуговых арочных дугообразных структур яркой белой засветки радиосигнала.



## Практическое использование материалов Атласа РСА сигнатур для планирования судоходства в Арктическом бассейне

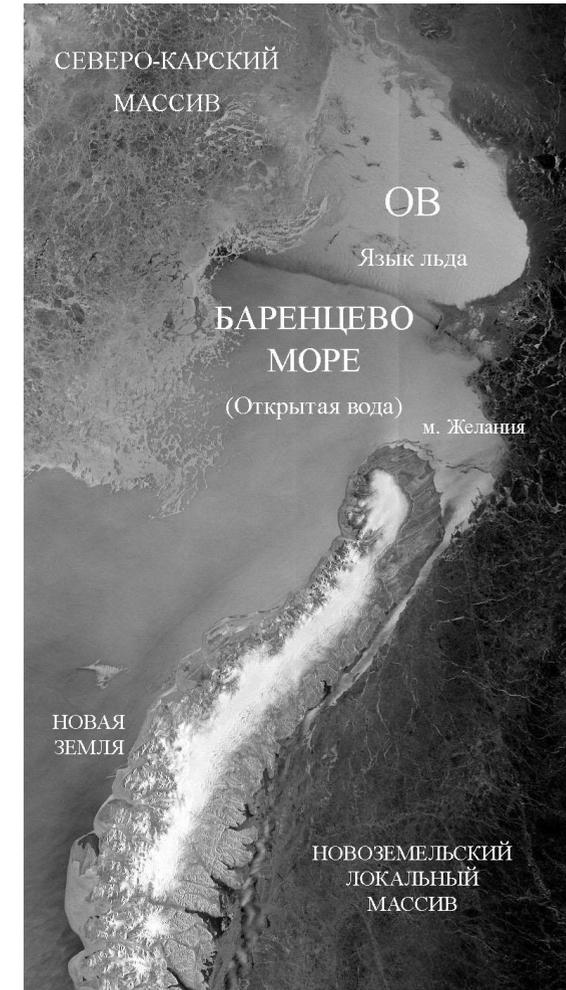
По данным РСА съемки 18 января 2010 г., маршрут через Баренцево море практически целиком проходит по открытой воде.

Небольшая ледовая перемычка – язык, или пояс льда - фиксируемая ИСЗ вблизи северной оконечности Новой Земли, для судов ледового класса не представляет трудностей.

Ледовые условия в Карском море к востоку от м. Желания: при зафиксированной ИСЗ ледовой ситуации в Баренцевом море, ледовый конвой может воспользоваться системой стационарных магистральных разводий и трещин, образующихся в Карском море, благоприятно ориентированных с СЗ на ЮВ - то есть от м. Желания в район о. Белый.

После дешифрирования данный РСА снимок в рамках Договора о творческом сотрудничестве с Мурманским Морским парокходством был отправлен в Штаб Морских Операций и использован для выбора маршрута движения судов в этот день.

Заключение о наличии открытых магистральных трещин в юго-западной части Карского моря подтвердилось данными РСА съемки 19 января, когда орбита ИСЗ Envisat проходила по этому району



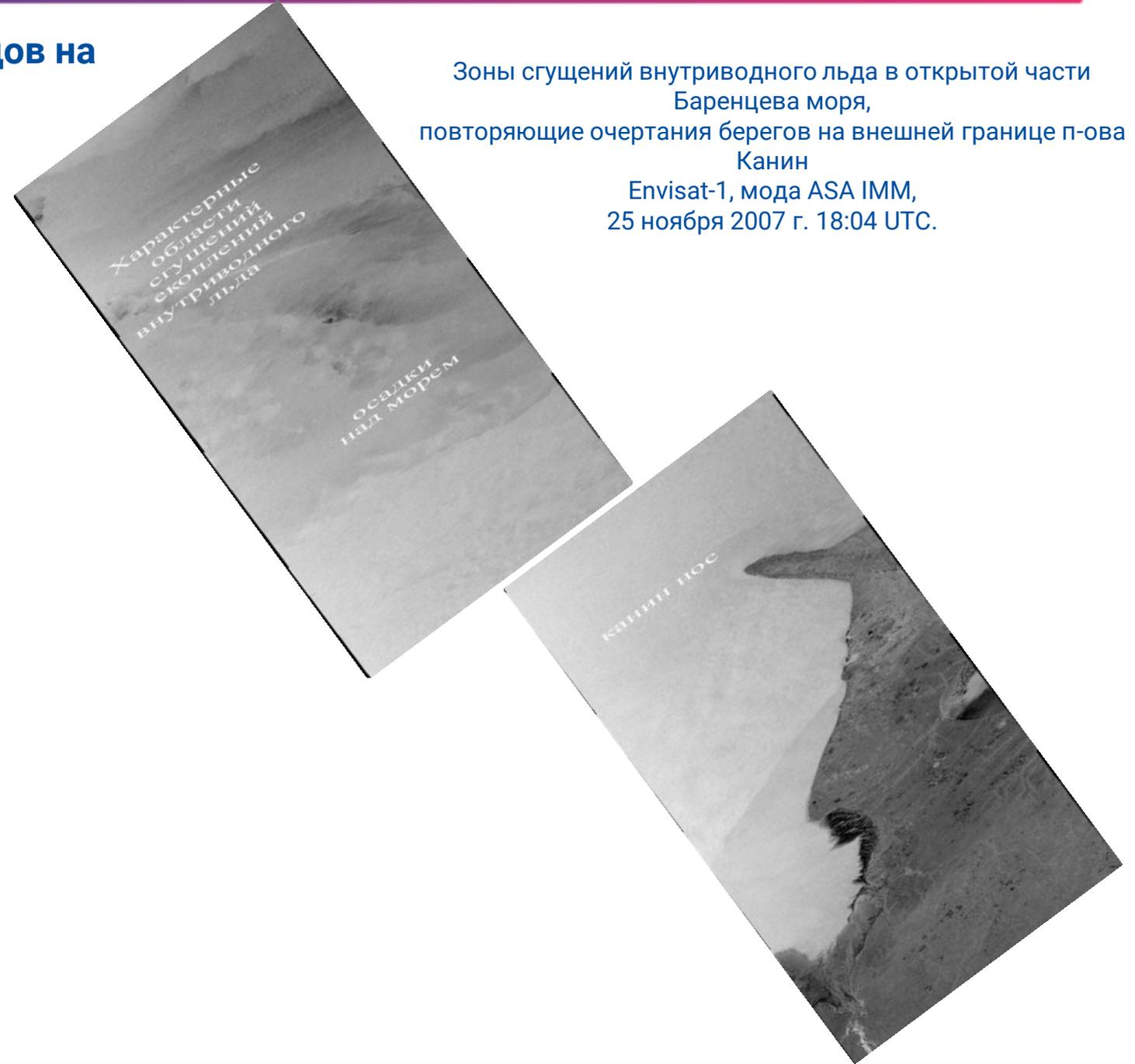
Маршрут полета ИСЗ и альтернативный вариант ледового плавания на восток вокруг мыса Желания.  
Envisat-1 ASA WSM 18 января 2010 г. 07.01 GMT. Н-Н  
Descending orbit.

## Принятие решений по выбору путей следования судов на основе использования данных РСА мониторинга и материалов Атласа РСА сигнатур

Особенности реагирования на обстановку, характеризующуюся сгущением внутриводного льда (консолидацией скоплений игл и пластинок в единую вязкую пластическую массу):

 Оперативное решение: уход судна из зоны интенсивного обледенения.

 Пассивные средства защиты: прогноз обледенения и выявление акваторий, свободных от обледенения судов.



## Новоземельская бора (катабатический падающий ледниковый ветер)

- обусловлена наличием горного хребта, вытянутого с юга на север вдоль острова,
- представляет собой поток плотного холодного воздуха, направленного с горных перевалов вниз по склонам земной поверхности.

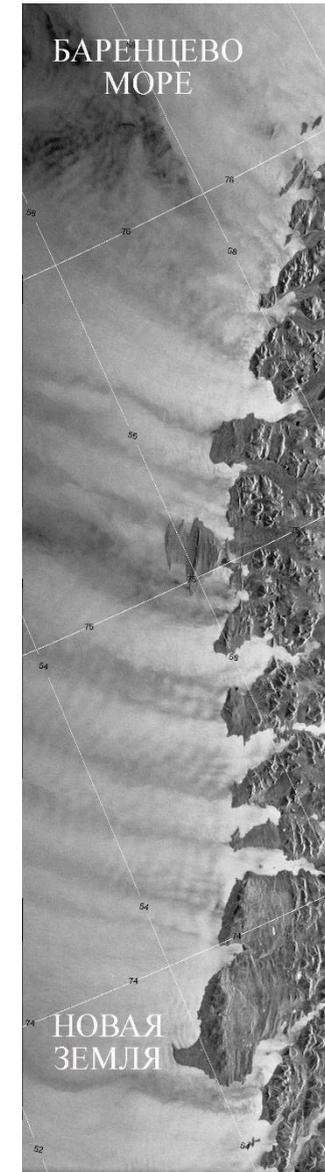
Характерные признаки:

- ✈️ сильный порывистый и очень холодный ветер, северо-восточного или юго-восточного направлений.
- ✈️ у берегов нередко достигают ураганной силы и ослабевают с удалением от берегов.

Наибольшая повторяемость новоземельской боры отмечается в ноябре – апреле с продолжительностью нередко 10 дней и более.

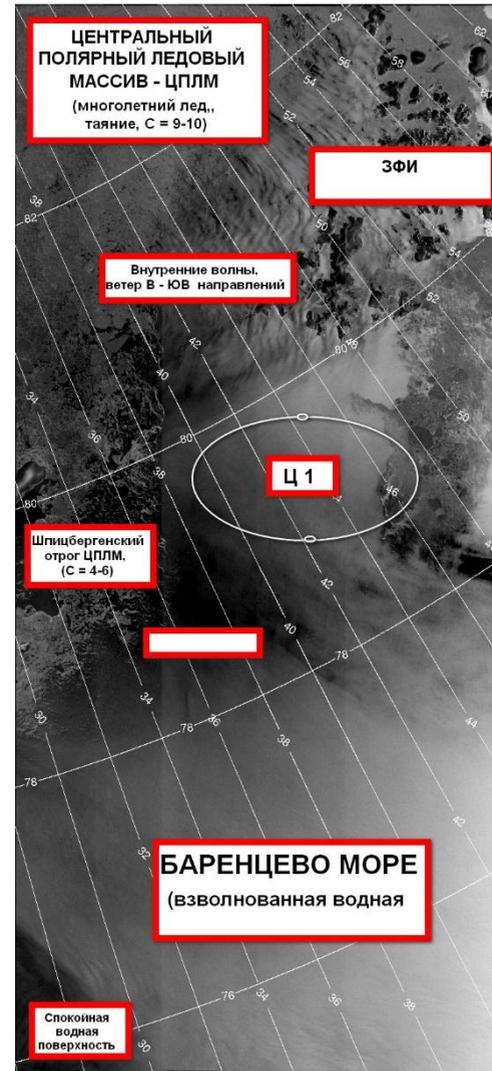
Во время боры видимость часто доходит до ее полного отсутствия – 0 метров.

РСА съемка фиксирует большие значительные пределы распространения этого опасного природного явления в открытом море и существенную пространственную неоднородность его структуры



Новоземельская бора в прибрежной части  
Баренцевого моря.  
Envisat-1 ASA IMM 25 сентября 2010 07.44 GMT.  
H-H Descending orbit

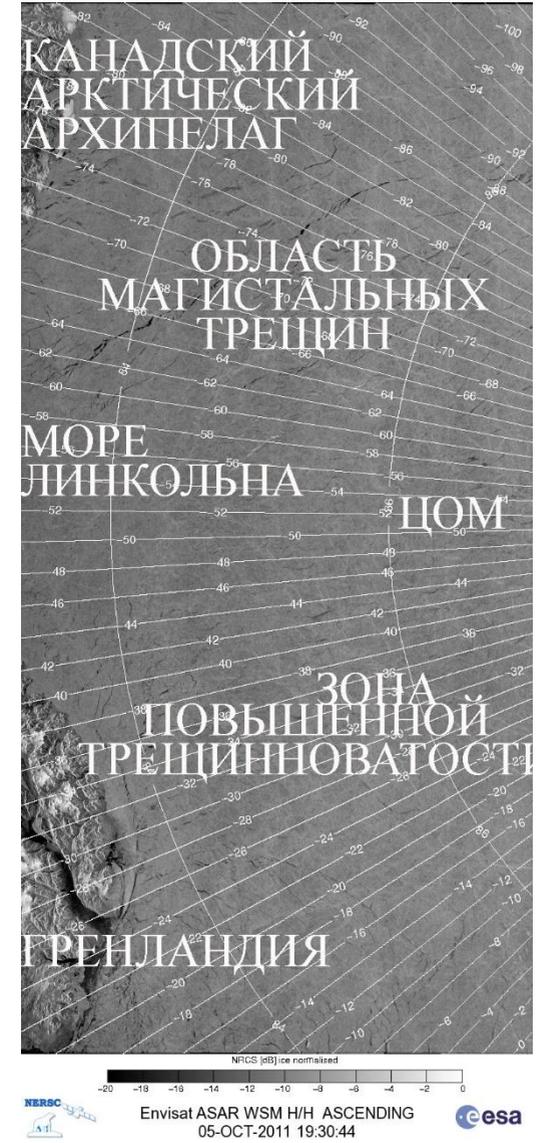
Таяние и разрушение  
Центрального океанического  
массива и его  
Шпицбергенского отрога.



Envisat ASAR WSM H/H DESCENDING  
05-JUL-2011 09:04:12

Envisat-1 ASA WSM  
05 июля 2011 г. 09.04 GMT

Области повышенной  
трещиноватости  
в Канадском секторе  
Арктики по данным  
РСА съемки

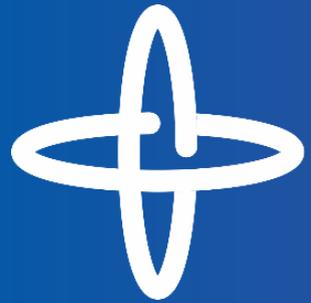


Envisat-1 ASA WSM  
5 октября 2011 г. 19.30 GMT

- В создаваемом Атласе РСА сигнатур ледяного покрова арктических морей представлены особенности проявления на синтезируемых радарных изображениях процессов формирования и преобразования льда в соответствующих акваториях.
- В состав Атласа входят аннотированные схемы на основе РСА изображений и практические рекомендации для штурманов.
- Особое внимание уделено описанию процессов, представляющих опасность для судов, и рассмотрению возникающих при их движении по трассе СМП типичных ситуаций, способных привести к чрезвычайным происшествиям.
- В перспективе использование Атласа позволит оптимизировать маршруты движения судов и сделать шаг к построению более эффективной транспортной системы в Арктике.

Благодарим за предоставленные материалы и поддержку:

- **Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Фонд «Нансен-центр»)»**
- **Штаб Морских операций (г. Мурманск)**



**ГУАП**

[guap.ru](http://guap.ru)

**Спасибо за внимание!**

**Мелентьев В.В.**  
проф., д.ф.-м. н.,  
[vv.melentyev@mail.ru](mailto:vv.melentyev@mail.ru)