

Двадцать вторая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"
11 - 15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН

Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных

Автоматический расчёт дрейфа и сжатия ледяного покрова моря в акватории Печорского моря по метеорологическим спутниковым данным

Алексанина М.Г. , Дьяков С.Е., Карнацкий А.Ю.

margeo@mail.ru



*¹Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток, Россия*

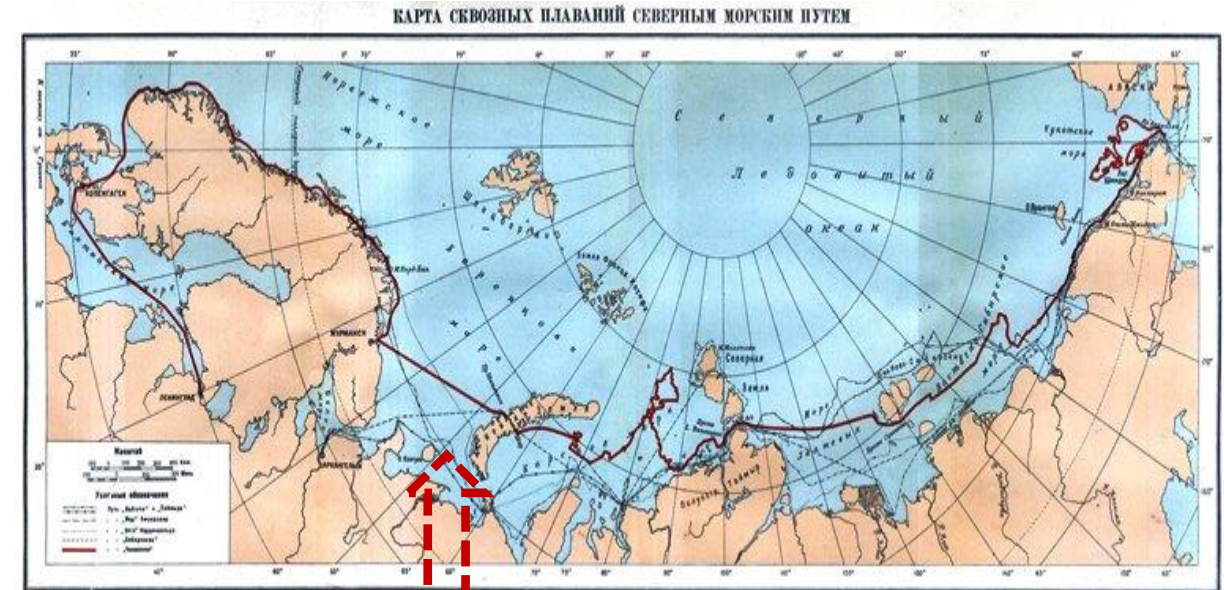


Акватория Печорского моря

Акватория Печорского моря находится в зоне арктического шельфа, где проходит транзит грузов по Северному морскому пути.

Регулярно в этом районе формируются тяжёлые ледовые условия, проявляющиеся в сжатиях ледяного покрова.

Ледовые сжатия, возникающие в замерзающих морях вследствие неравномерности дрейфа льда, относятся к опасным для судоходства гидрометеорологическим явлениям.



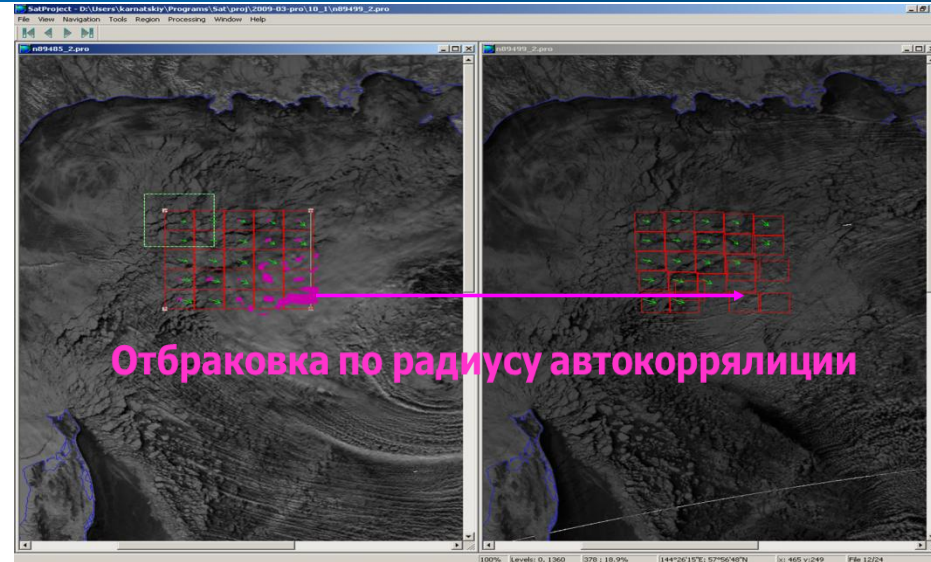
Базовый метод – автоматический расчёт скоростей перемещений объектов на море



В Спутниковом центре ИАПУ ДВО РАН для автоматического расчёта скоростей перемещений объектов на море в качестве базового метода используется оригинальный метод, являющийся аналогом метода максимума кросс-корреляции, но в отличие от последнего позволяющий получать априорные оценки точности расчёта скорости*

Высокая точность и надёжность алгоритма расчёта скоростей дрейфа позволили его применять для расчёта характеристик сжатия льда.

* Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Автоматический расчет скоростей перемещений ледовых полей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. №2. С.9-17.



Дрейф льда

Расчет скоростей дрейфа льда, рассматриваемых как скорости перемещений маркеров, определяется по последовательности изображений с метеорологических спутников в различных диапазонах спектра



Сжатие льда

Локальный показатель сжатия/разрежения рассматривается как скорость изменения расстояния между отдельными элементами ледяного покрова моря. Определяется двумя параметрами — скалярной величиной и направлением оси сжатия/разрежения.





Расчёт характеристик сжатия морского льда

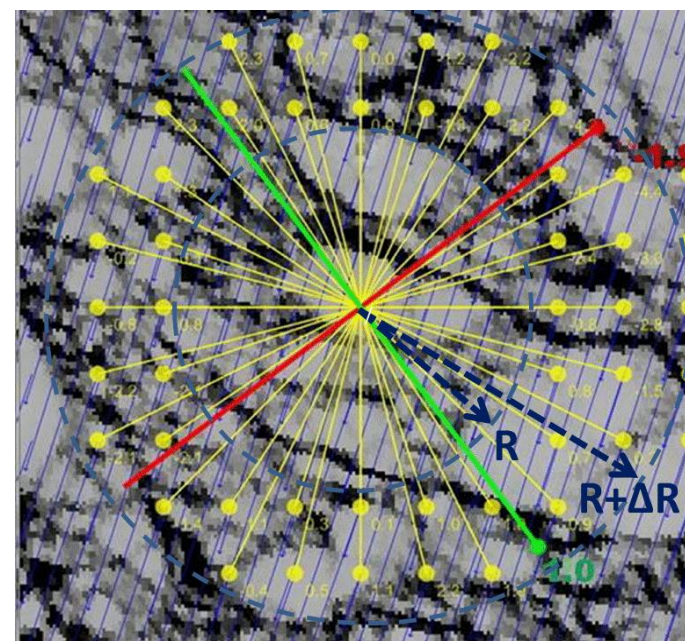
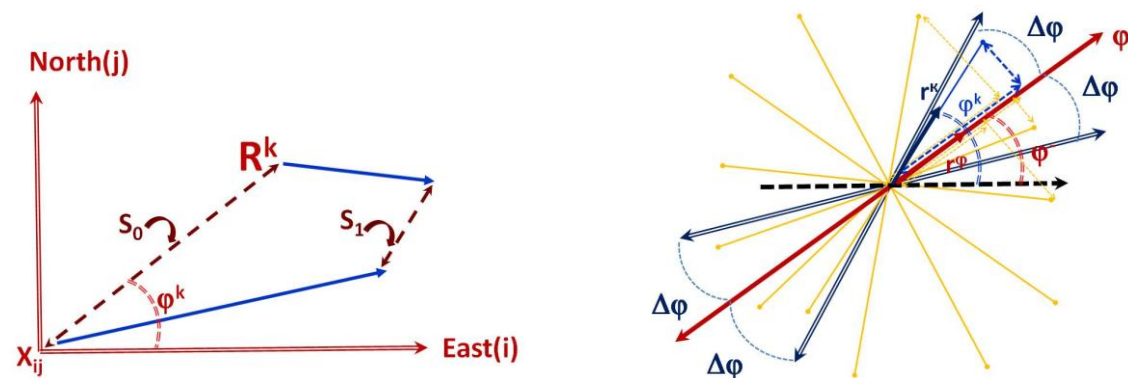
Сжатие характеризуется направлением и величиной*

В окрестности заданной точки рассчитываются направления максимального **сжатия/растяжения**, и его величина при заданной статистической значимости результата.

На вход алгоритма подаются проекции привязанных и откалиброванных спутниковых изображений в тепловом или видимом диапазоне спектра радиометра MODIS или российского прибора KMCC.

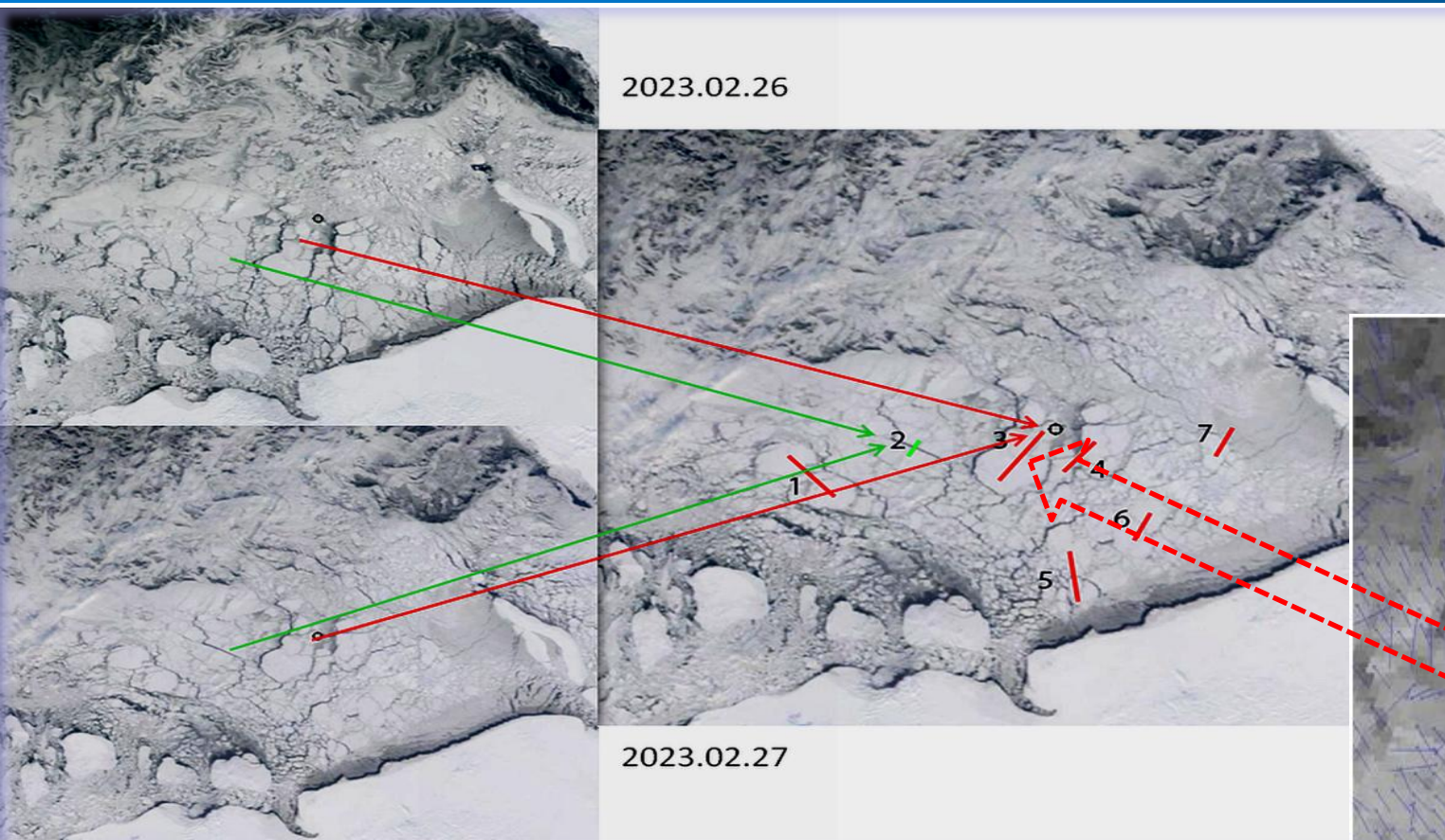
* А. И. Алексанин, М.Г. Алексанина, А.Ю. Карнацкий

Расчет сжатия ледяного покрова моря по спутниковым изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 210–224

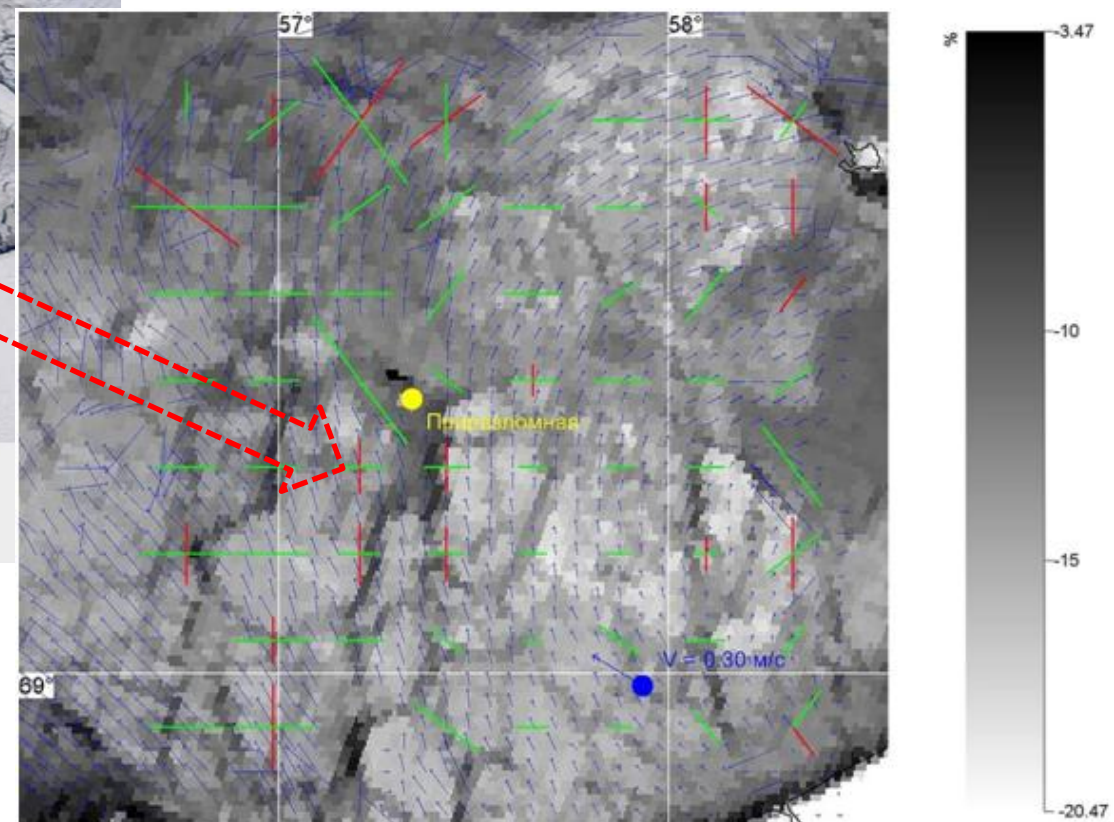




Расчет скоростей дрейфа и сжатия морского льда по данным радиометра MODIS за 27 февраля 2023 года в Печорском море рядом с платформой «Приразломная»



Работа алгоритма по определению зон сжатия/разрежения ледового покрытия



Визуально- ручной анализ
 $V_{ср} \approx 0-3 \text{ см/с}$





Расчет скоростей дрейфа и сжатия морского льда по данным КМСС/МЕТЕОР-М за 8 марта 2021 года в Печорском море в проливе Карские ворота

5/10

Многозональная спутниковая обзорная система -201М/202М российского спутника «Метеор-М» №2 предназначена для съемки поверхности Земли в полосе обзора около 900 км в трех спектральных зонах в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

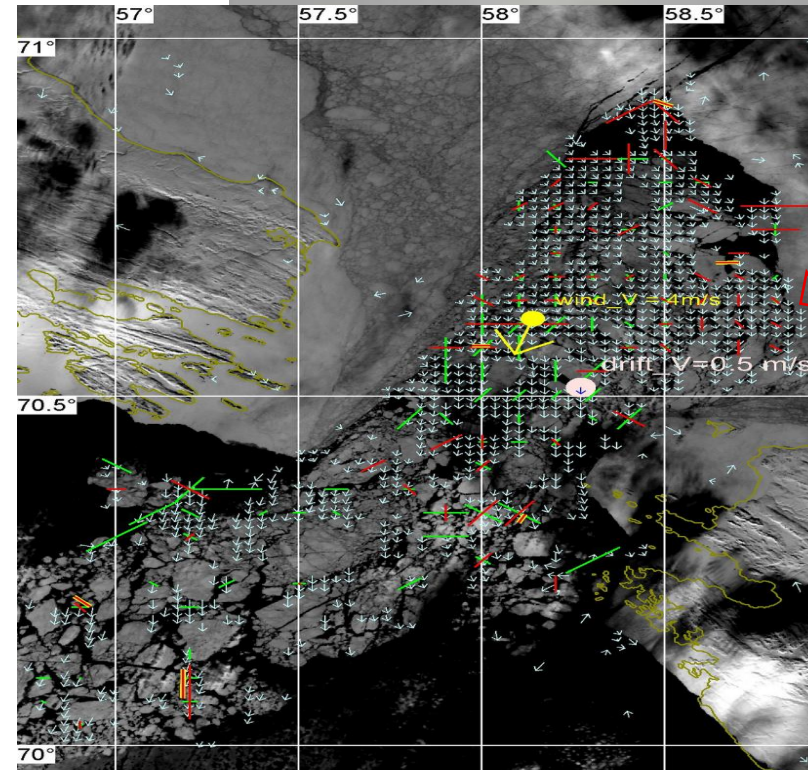
ПРЕИМУЩЕСТВА КМСС перед MODIS:

- 1) **Пространственное разрешение 60 м на пиксель.**
- 2) **Двойной охват одной и той же акватории с интервалом 100 минут (1 час 40 минут — это временной интервал между съемками на соседних витках)**

Двойное покрытие одной и той же акватории с интервалом в 100 минут (1 час 40 минут – интервал времени между съемками на смежных витках) позволяет рассчитывать скорости с точностью в 1 см/сек (60 метров на пиксель и 6000 секунд).

Кроме того, мы получаем практически мгновенную скорость деформации (сжатия/разрежения) морского ледового поля, которая часто определяется приливными течениями, которые обычно меняют свое направление с интервалом около 6 часов.

КМСС - лучший спутниковый прибор для ежедневного мониторинга всего Северного морского пути



$V_{с/р} \approx 0 - 3 \text{ см/с}$

соответствует типичным скоростям сжатия/разрежения

в этом акватории *

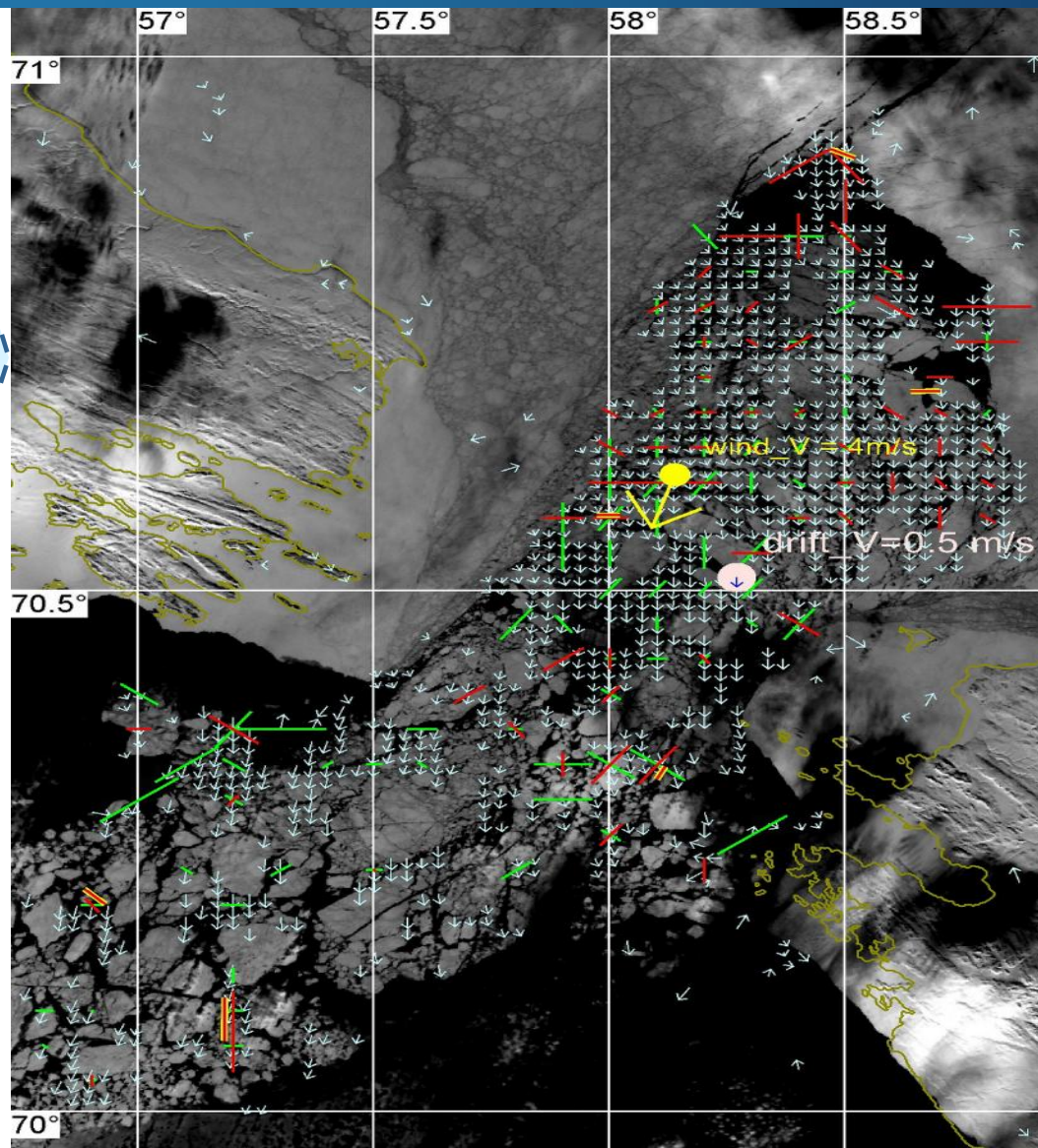
* Бузин И.В., Клячкин С.В., Фролов С.В., Смирнов К.Г., Михальцева С.В., Соколова Ю.В., Гудошников Ю.П., Войнов Г.Н., Григорьев М.Н. Сжатия ледяного покрова в Печорском море: природное явление и его влияние на морские операции // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12. № 4. С. 500-512.



Результат подхода к расчету сжатия/разрежения ледового покрытия моря в проливе Карские Ворота

Значения сжатия/разрежения, рассчитанные по данным КМСС/Метеор-М за 8 марта 2021 г. в районе пролива Карские Ворота по двум снимкам с интервалом 100 минут.

Зелеными линиями обозначены зоны разрежения, найденные автоматически, красными линиями обозначены зоны сжатия, а красными линиями на желтых линиях обозначено визуальное определение значений сжатия ледникового покрова.



Видно, что локализация зон сжатия, полученная автоматически и вручную в некоторых точках (красным цветом на желтой подложке), совпадает.

Визуально определенные зоны сжатия/разрежения показали скорость закрытия трещин в среднем 0,05 м/с, что соответствует типичным скоростям сжатия/разрежения в этом регионе.

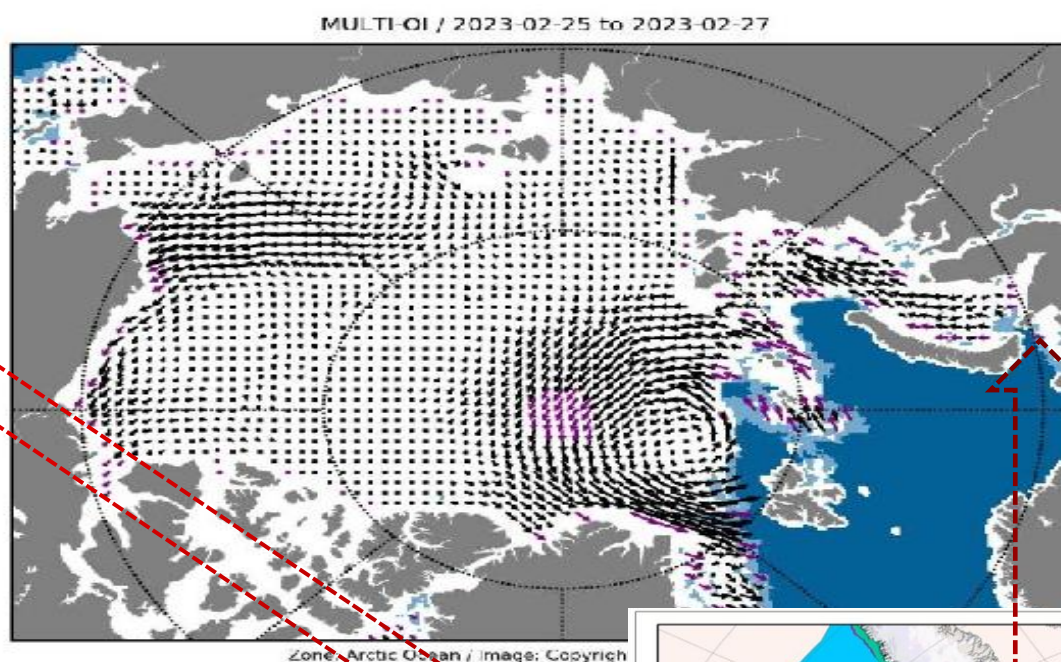
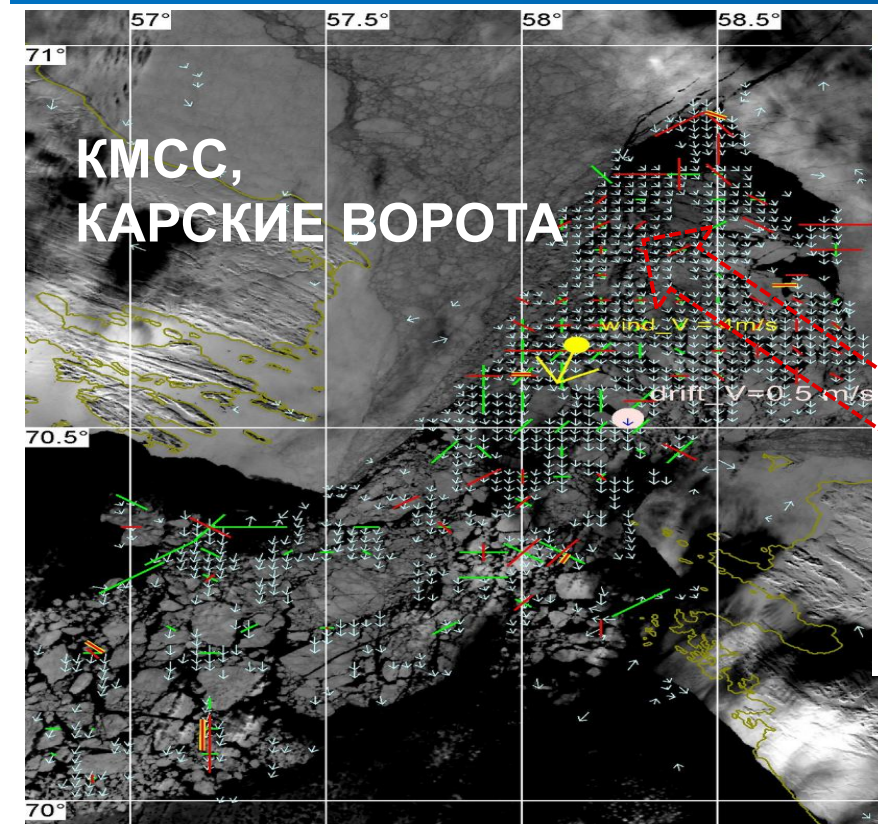
Средние скорости сжатия, рассчитанные автоматически при среднем радиусе поиска 3600 м, составили 0,054 м/с, а при среднем радиусе поиска 4500 м - 0,074 м/с.

При разных радиусах поиска угол ориентации оси сжатия был стабильным, в среднем отклонение было 2° с точностью 28° градусов.

Сравнение различных сервисов расчета параметров ледового покрытия моря



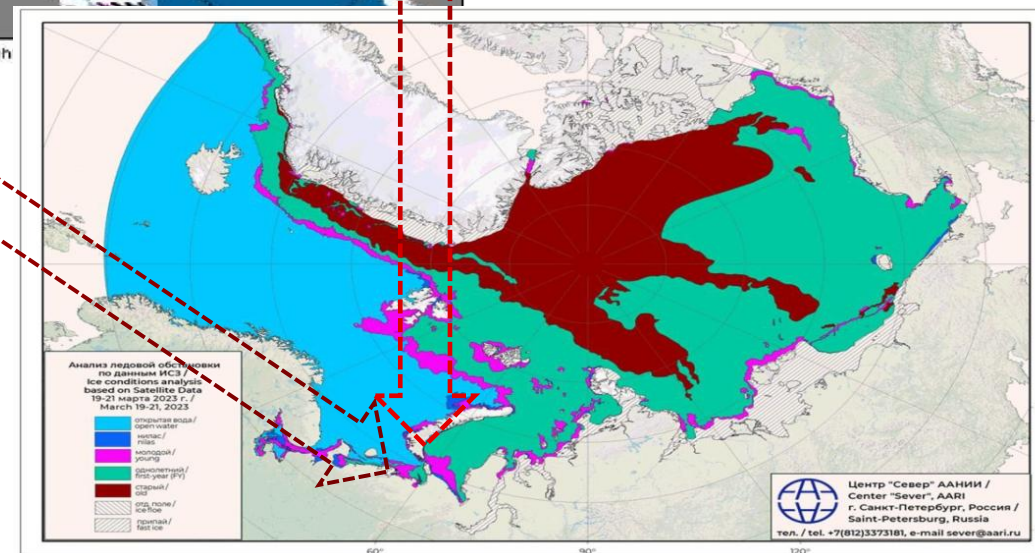
ледового покрытия моря



← EUMETSAT

ААНИИ ↓

← Спутниковый центр ДВО РАН



Через пролив Карские Ворота кратчайший путь транзита грузов по Севморпути. Но в этом районе регулярно формируются тяжелые ледовые условия, проявляющиеся в сжатиях ледяного покрова, которые приводят к серьезным трудностям судоходства.



Направления развития

- Разработанный подход к расчету дрейфа и сжатия ледяного покрова моря может быть применен и к температурным картам, что актуально в период полярных ночей.
- Перспективным источником информации могут стать китайские метеорологические спутники серии FY-3, имеющие спектральные каналы нужного пространственного разрешения.
- Технология обработки в настоящее время встраивается в Государственную информационную систему оперативной поставки данных дистанционного зондирования Земли (ГИС ОПД ДЗЗ) Роскосмоса.

Интеграция сервисов Космического центра в ГИС ОПД ДЗЗ Роскосмоса

Интерфейс тестового прототипа доступа в ИС **Формирование заказа на расчет ТПО** **Просмотр выполненных заказов**

ИАПУ ДВО РАН&ДВФУ

Результат интеграции : реализация единообразного доступа к спутниковым данным как российских, так и мировых архивов, а также к продуктам высокоуровневой обработки в требуемой тематической области

Схема взаимодействия и размещения сервиса в ГИС ОПД ДЗЗ

```
graph LR
    subgraph "Размещение внедренного сервиса в ГИС ОПД ДЗЗ"
        G1[ГИС ОПД ДЗЗ]
    end
    subgraph "Информационная система поиска, получения и обработки спутниковых данных ИАПУ ДВО РАН"
        G2[Информационная система поиска, получения и обработки спутниковых данных ИАПУ ДВО РАН]
    end
    subgraph "Распределенная система обработки DSystem"
        G3[Распределенная система обработки DSystem]
        G4[Набор алгоритмов обработки]
    end
    G1 -- "Получение данных" --> G2
    G2 -- "Вызов сервисов обработки" --> G1
    G1 -- "Запуск обработки" --> G3
    G3 -- "Получение результатов" --> G1
    G4 --> G3
    G5[(Репозиторий спутниковых данных)]
    G5 --> G2
    G5 --> G3
```

Размещение внедренного сервиса в ГИС ОПД ДЗЗ

Схема взаимодействия



Технология в формате автоматического сервиса внедряется в ГИС ОПД ДЗЗ Роскосмоса.

Для её использования **НЕОБХОДИМО**:

- **оперативность** обработки и поставки (в течение 3-х часов после пролета спутника);
- **точная геопривязка.**

ПРОБЛЕМЫ:

- 1) нет возможности заказать точную геопривязку по технологии АПОИ (НИИТП), другая технология неприемлема;
- 2) даже из ГИС ОПД ДЗЗ Роскосмоса нет возможности создать автоматическую цепочку обработки и поставки данных (нет доступа к данным и алгоритма системы ГИС ОПД ДЗЗ Роскосмоса);
- 3) архивы Роскосмоса не полные, у Росгидромета они многократно больше, но данные КМСС почему -то не покрывают весь Земной шар , а должны;
- 4) Можно было бы оказывать платные услуги потребителям США, Канады, Европы и Южной Америки.



Заключение

10/10

Для **эффективного** применения возможностей **спутникового мониторинга** вдоль **Северного морского пути**

необходимо наличие:

- 1) **спутниковых данных** с требуемым пространственным и временным разрешением;
- 2) **специалистов и технологий** извлечения из данных ДЗЗ полезной информации;
- 3) развитых **информационно – коммуникационных ресурсов.**



Ожидаемый результат :

проводка судов по Северному морскому пути;

взаимодействие с аварийно-спасательными службами

федеральных органов исполнительной власти при проведении работ (операций) по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на трассах.



Спасибо за внимание!

