

XXIII Международная конференция  
"Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из  
космоса"

**Анализ спутниковых радиолокационных снимков  
акватории северных морей для обнаружения кромки льда  
методами компьютерного зрения**



**МУРМАНСКИЙ  
АРКТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**Ирина Михайловна Лазарева  
Олег Иванович Ляш**

Москва, 10 – 14 ноября 2025

# Мониторинг ледовой обстановки

**Лёд** (морской, речной) - ключевой элемент климатической системы региона.

Мониторинг ледовой обстановки в акваториях северных морей и внутренних водоемов (периоды становления льда и освобождения ото льда)

Мониторинг опасных явлений (половодья на внутренних водоемах, определения кромки льда в морских акваториях)

Исследование поддержано грантом РФФ

№ 24-17-20021 “Создание регионального портала мониторинга опасных явлений природного и антропогенного происхождения Мурманской области на основе данных спутникового дистанционного зондирования и беспилотных авиационных систем”

<https://rscf.ru/project/24-17-20021/>



## Мониторинг кромки льда

**Кромка льда** - граница между льдом и открытой водой

Динамика кромки льда существенно влияет на окружающую среду, изменяя температуру и соленость воды, что сказывается на морских организмах.

Изменения границ морского льда также влияют на судоходство, создавая опасные условия.



## Зоны исследования и динамика льда

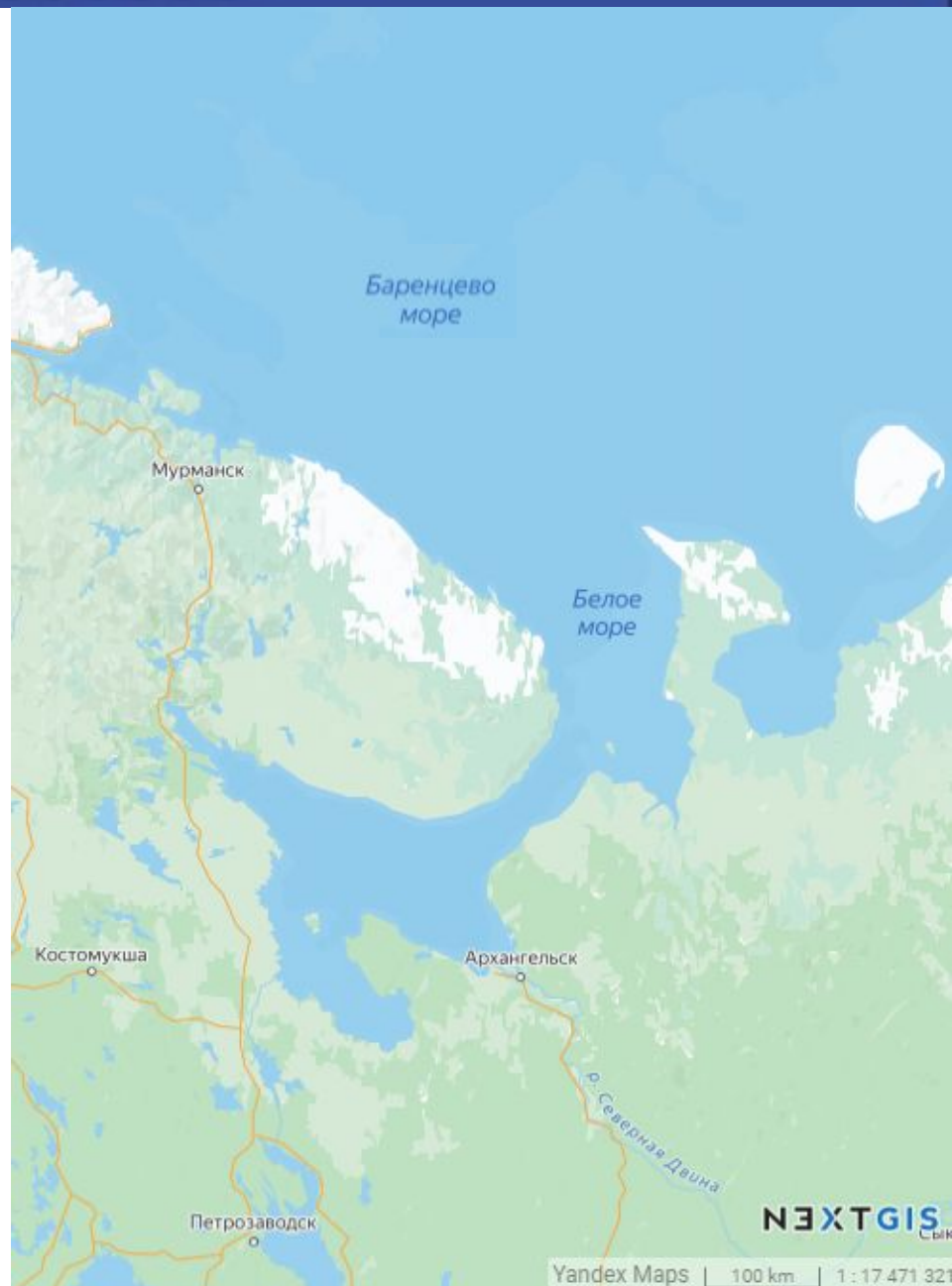
Баренцево море - ежегодные изменения ледового покрова

Белое море - сезонный лёд (зима/лето)

**Кандалакшский залив** (акватория Белого моря, относящаяся к Мурманской области)

Динамика льда:

- Зима (до апреля): лёд распространяется
- Лето (май–сентябрь): лёд отступает



## Различия в подходах к обнаружению кромки льда (ice edge detection) и классификации пикселей на лёд/вода (ice/water classification)

| Аспект                  | Классификация лёд/вода                               | Обнаружение кромки льда   |
|-------------------------|--|---|
| Цель                    | Определить состояние каждого пикселя                 | Найти границу между льдом и водой   |
| Выход                   | Растровая маска                                      | Векторный контур или линия  |
| Чувствительность к шуму | Высокая (ошибки на пиксельном уровне критичны)       | Ниже (локальные ошибки могут быть сглажены)   |
| Зависимость             | Может использоваться как этап для обнаружения кромки | Часто требует предварительной классификации   |
| Применение              | Мониторинг концентрации льда, типов льда, навигация  | Оперативное картографирование, климатические индексы (например, площадь ледяного покрова) |

# Методы обнаружения кромки льда

## Визуальный анализ

- всегда учитывает контекст, а не только пиксели
- Ручная кромка - не просто «изолиния», а интерпретируемый объект, учитывающий:
  - направление дрейфа льда,
  - наличие судоходных коридоров,
  - прогноз на 24 ч.

## Компьютерное зрение

- Разметка не нужна
- Работает на одном снимке
- Хорошо работает в новых регионах
- Применим для оперативных систем с ограниченными данными
- Хорош как первое приближение для аналитика
- Высокая интерпретируемость

## Глубокое обучение

- Требуется ручная маска лёд/вода для обучения
- Нужны сотни – тысячи размеченных сцен
- Может переобучаться при смене региона
- Подходит для автоматического мониторинга в масштабе всего Арктического бассейна

# Преимущества спутникового мониторинга

## Доступность

Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса предлагает доступное решение для мониторинга



<https://tass.ru/kosmos/10965805>

## Регулярность

Позволяет получать регулярные данные, охватывающие большие территории, в отличие от затратных наземных средств

## Автоматизация

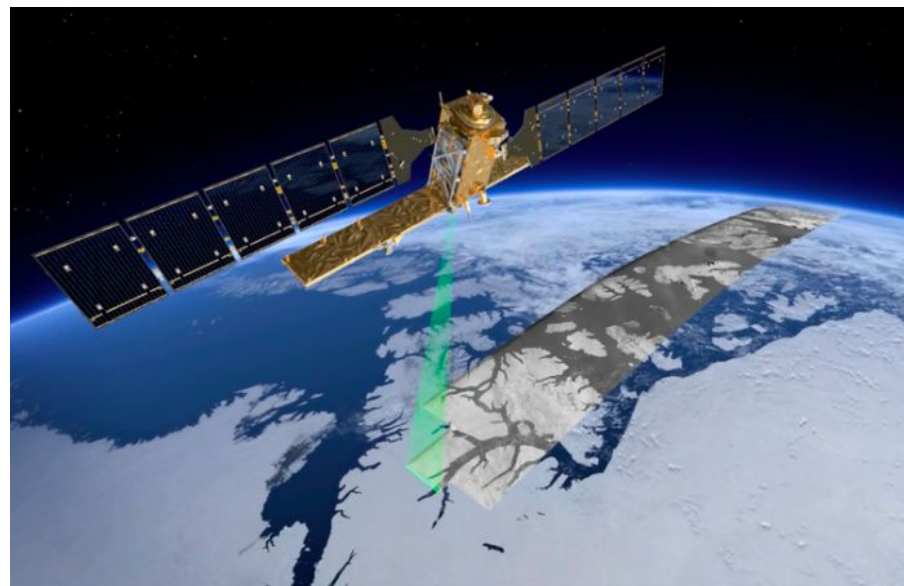
Применение алгоритмов компьютерного зрения автоматизирует процесс обнаружения кромки льда, минимизируя визуальный анализ

## Данные для анализа

Обнаружение границ морского льда осуществлялось на основе анализа радиолокационных снимков с синтетической апертурой (РСА) спутниковой платформы Sentinel-1.

Использует микроволновое излучение для получения изображений земной поверхности, независимо от погоды и времени суток.

В данном исследовании используются волны с HH + HV поляризациями.



[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2017/02/Sentinel-1\\_monitoring](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/02/Sentinel-1_monitoring)

# Источники данных и программная реализация



## BEGA-Science

Открытый сервис для получения снимков Sentinel-1A через API, автоматизирующий загрузку данных.

<http://sci-vega.ru/>



## Python и библиотеки

Для программной реализации определения кромки льда использовался Python с библиотеками OpenCV, Matplotlib, GDAL, Requests, Pyproj.



## Арктический портал (SIOWS)

Web ГИС, предназначенная для отображения различных спутниковых, контактных и модельных данных

<http://siows.solab.rshu.ru/>

## NEXTGIS

## NextGIS

Результаты отображаются средствами георесурса NextGIS, который поддерживает интеграцию и визуализацию геопространственных данных.

# Этапы анализа спутниковых снимков методами компьютерного зрения

01

---

## Загрузка подготовленных спутниковых изображений

02

---

## Сегментация

Использование перцентилей для разделения на области воды, льда и суши. Создание маски льда

03

---

## Улучшение качества границ

Нормализация градиента яркости, бинаризация и морфологическая операция «закрытие».

04

---

## Поиск и фильтрация контуров

Применение алгоритма поиска контуров с фильтрацией по площади для определения формы льда.

05

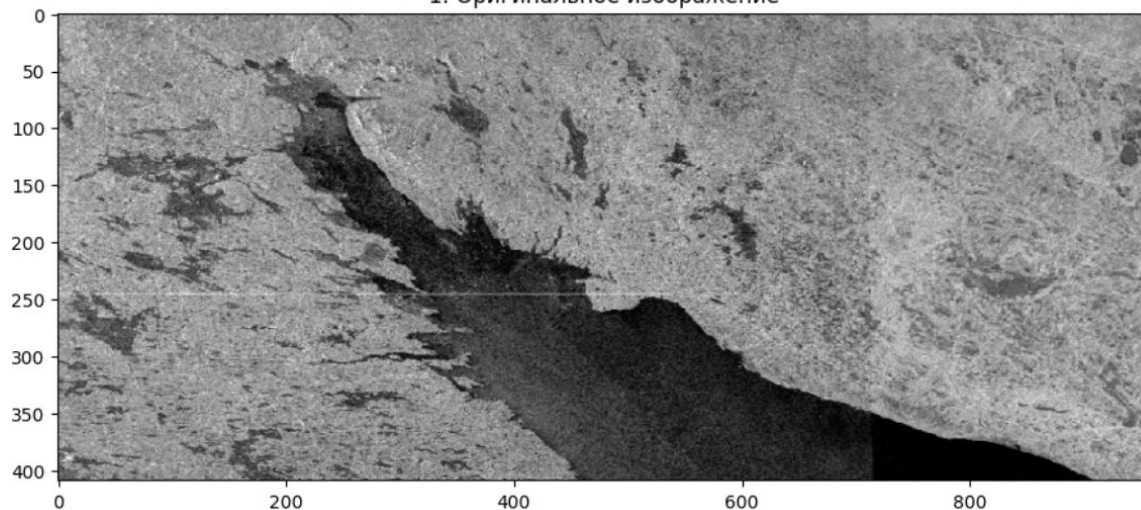
---

## Преобразование координат

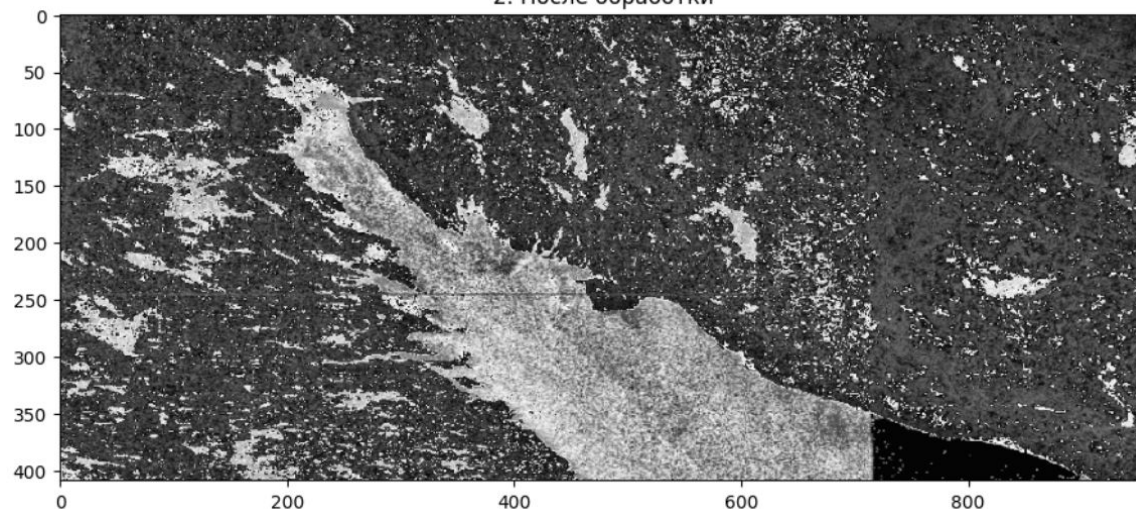
Преобразование пиксельных координат в географические для публикации данных.

# Визуализация анализа спутниковых снимков

1. Оригинальное изображение

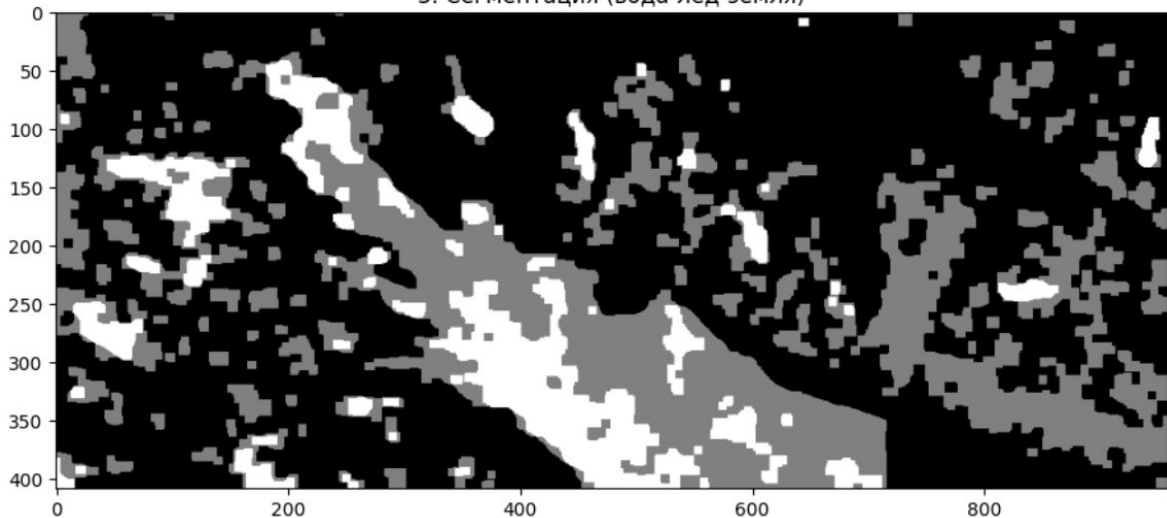


2. После обработки

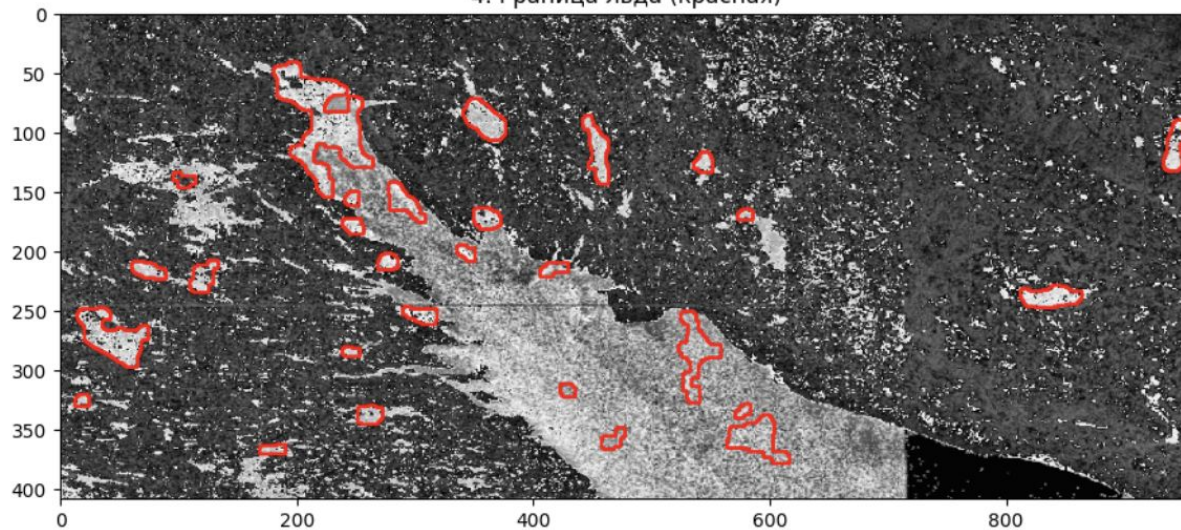


# Визуализация анализа спутниковых снимков

3. Сегментация (вода-лед-земля)

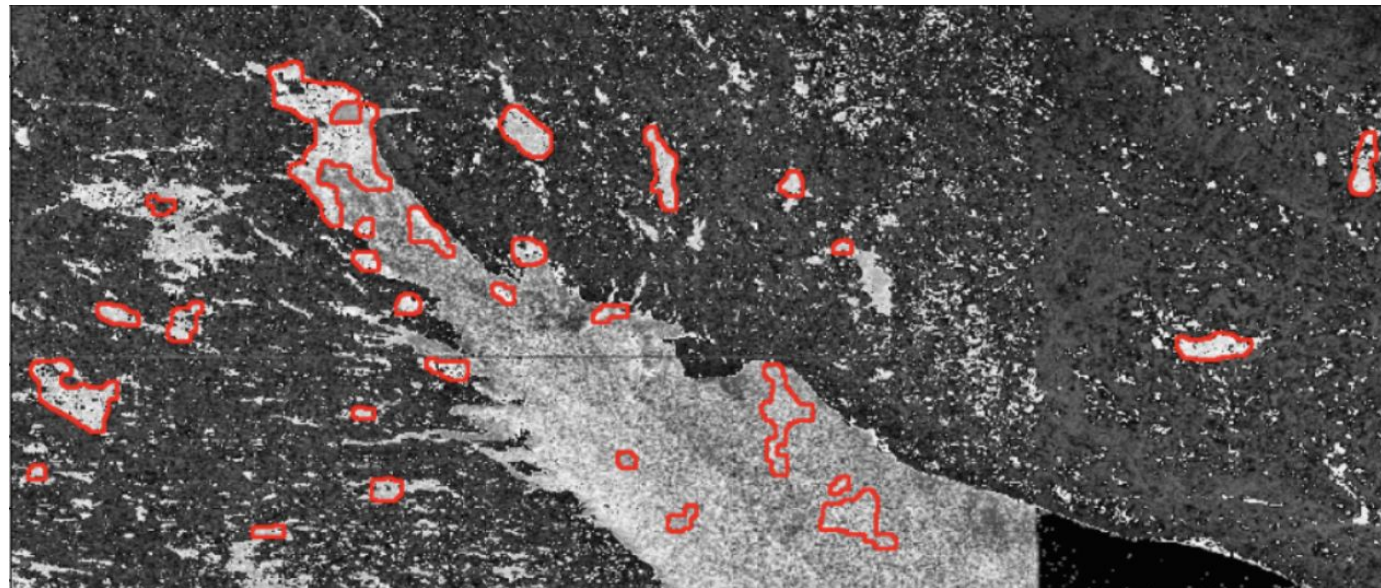
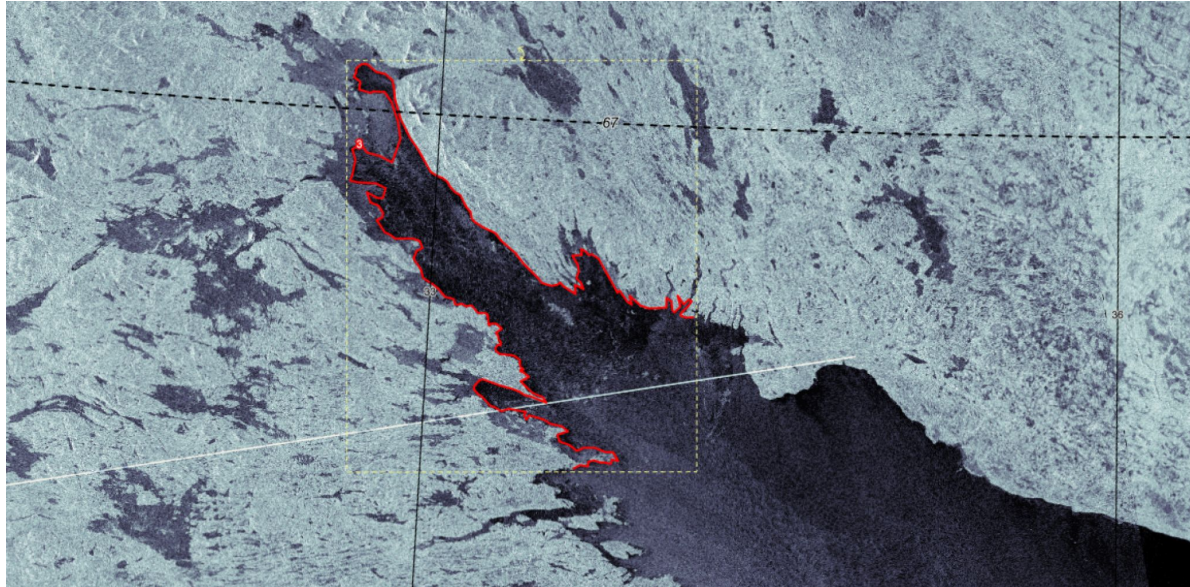


4. Граница льда (красная)



# Сравнение результатов анализа

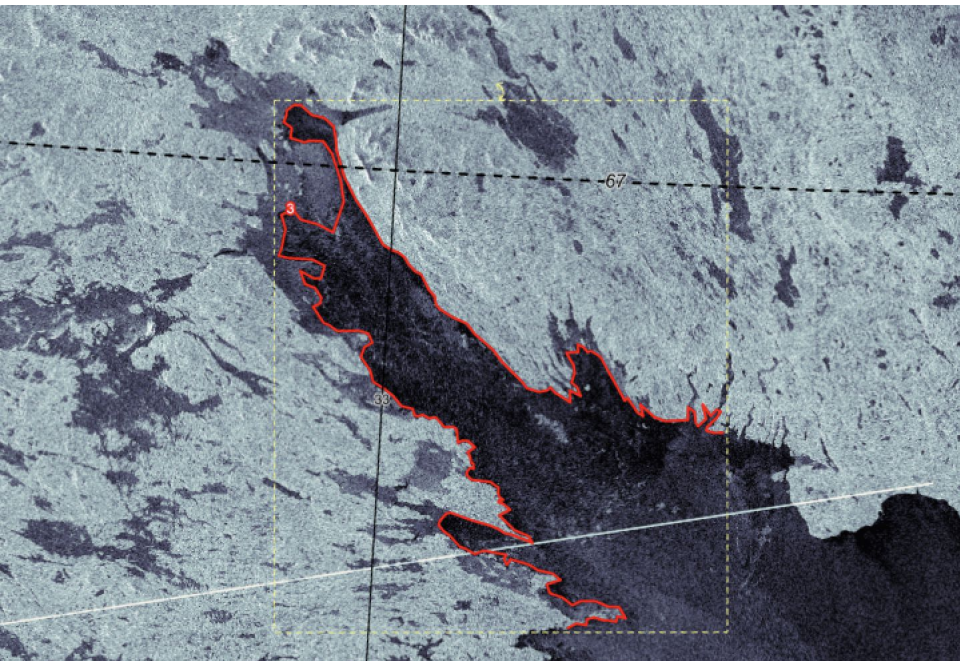
Визуальный анализ



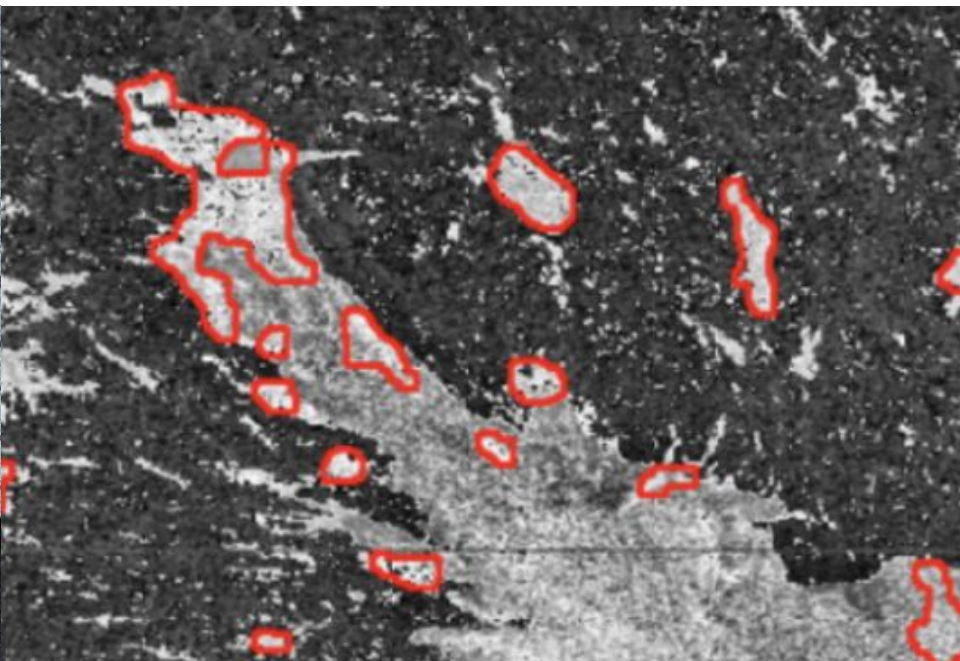
Компьютерное зрение

# Сравнение результатов анализа

Визуальный анализ



Компьютерное зрение





**Использование алгоритмов компьютерного зрения для  
обнаружения кромки льда на спутниковых снимках**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

ФГАОУ ВО «Мурманский арктический  
университет»

Научно-исследовательская лаборатория  
«Анализ данных и искусственный интеллект в  
арктических исследованиях»

**Заведующий лабораторией:**

Лазарева Ирина Михайловна, канд. физ.-мат. наук,  
доцент

[lazareva.im@mauniver.ru](mailto:lazareva.im@mauniver.ru)

