

Первый опыт использования данных космических аппаратов «Кондор-ФКА» для наблюдений за характеристиками ледяного покрова

Афанасьева Е. В., Соколова Ю. В., Солощук П. В.

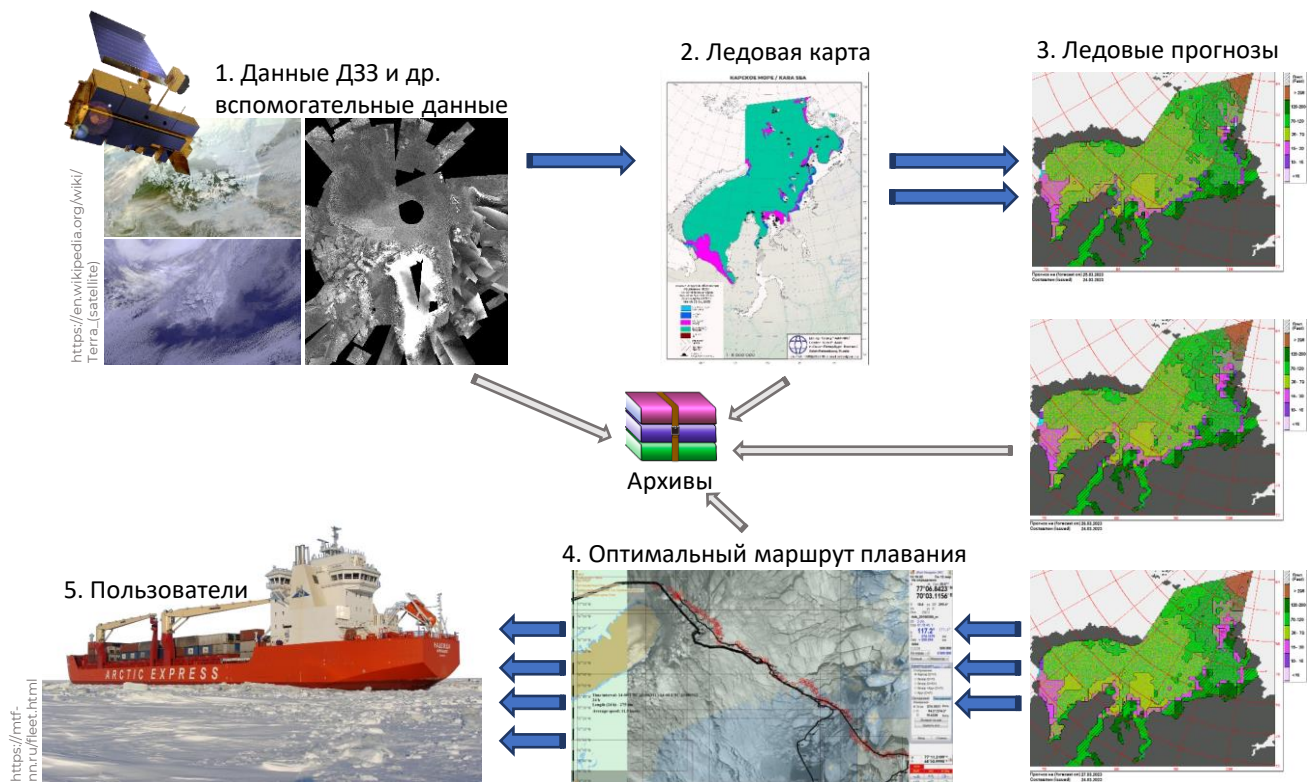
E-mail: afanasieva@aaari.ru

XXIII Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

10-14.11.2025 | ИКИ РАН | Москва

Область применения данных спутниковой радиолокации в ААНИИ

Мониторинг ледяного покрова Арктики, Антарктики и замерзающих морей РФ с применением данных спутниковой радиолокации ведётся в ААНИИ с 1980-х гг. (с первых дней работы космического аппарата (КА) «Космос-1500»). Радиолокационные изображения (РЛИ) используются для **регулярных наблюдений за ледовыми условиями морей, специализированного гидрометеорологического обеспечения (СГМО) морских операций**, а также выполнения **научных исследований**. В настоящее время для этих целей используются данные зарубежных спутников (ЕС, Китай).



← Схема системы СГМО «Север» ААНИИ. В основе производства информационной продукции лежит анализ спутниковых изображений, получаемых в различных диапазонах электромагнитного спектра. **Радиолокационные данные, ввиду их всепогодности и независимости от условий естественной освещённости, зачастую служат основным (в некоторых случаях – единственным) источником информации о состоянии ледяного покрова**

Участие ААНИИ в Рабочей группе по подготовке тематических заказчиков к практическому применению радиолокационной информации

В 2022 г. ААНИИ в качестве потенциального пользователя данных отечественной космической системы «Кондор-ФКА» был приглашён к участию в Рабочей группе по подготовке тематических заказчиков к практическому применению радиолокационной информации под управлением АО «РКС».

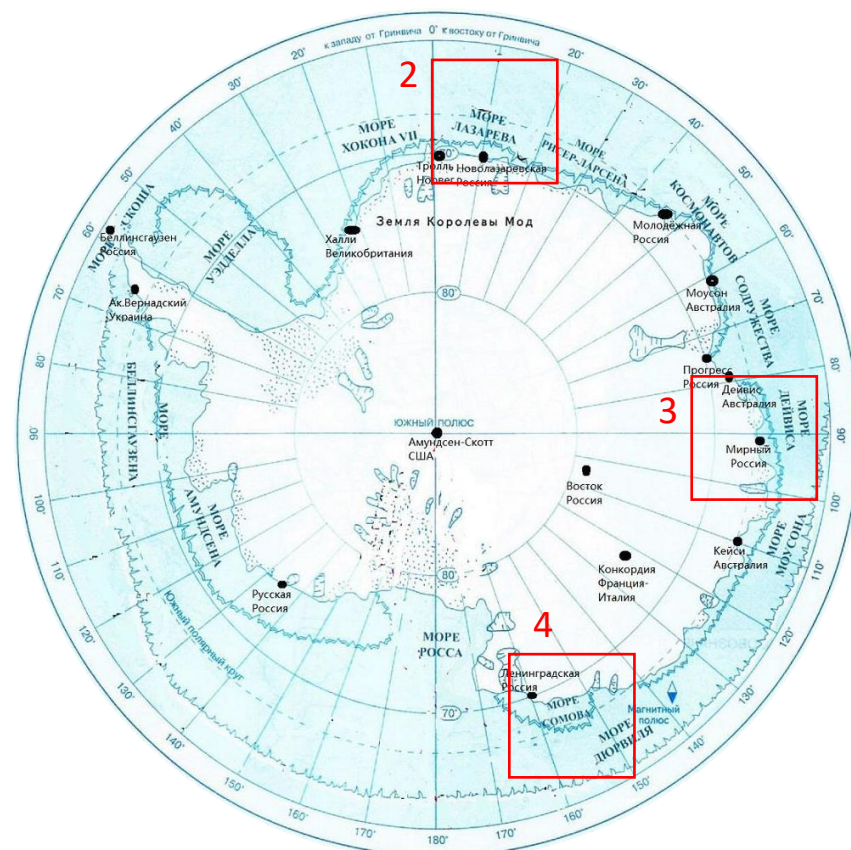
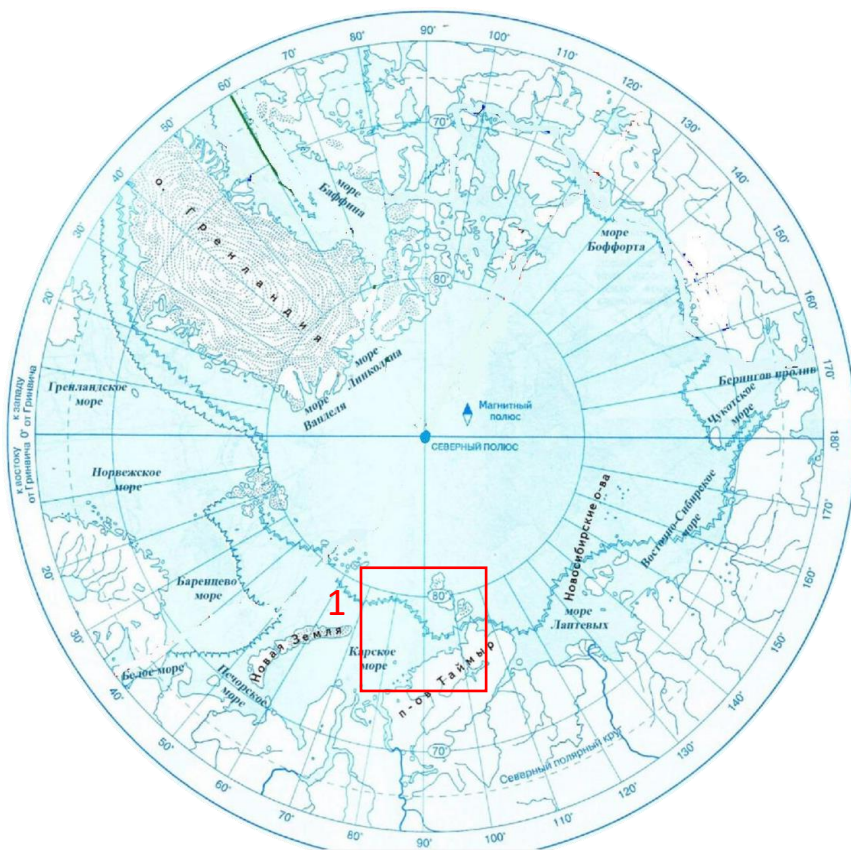
Мероприятия в рамках Рабочей группы:

- Обучение сотрудников ААНИИ на территории НЦ ОМЗ АО «РКС» и ООО «Центр инновационных технологий»;
- Передача ААНИИ данных спутников «Кондор-Э» и «Кондор-ФКА» для оценки качества и анализа;
- Передача НЦ ОМЗ отчётов с результатом оценки качества и анализа предоставленных данных;
- Проведение совещаний в формате ВКС с представителями АО «РКС» и АО «ВПК «НПО машиностроения»

С 2022 по 2025 гг. ААНИИ было передано:

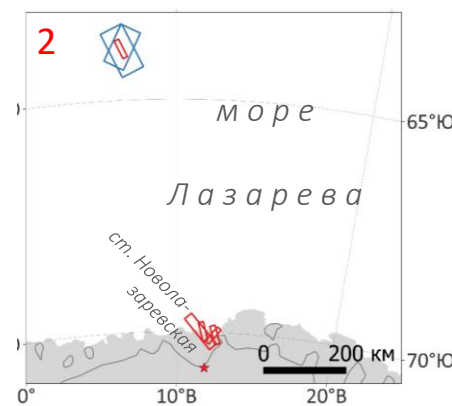
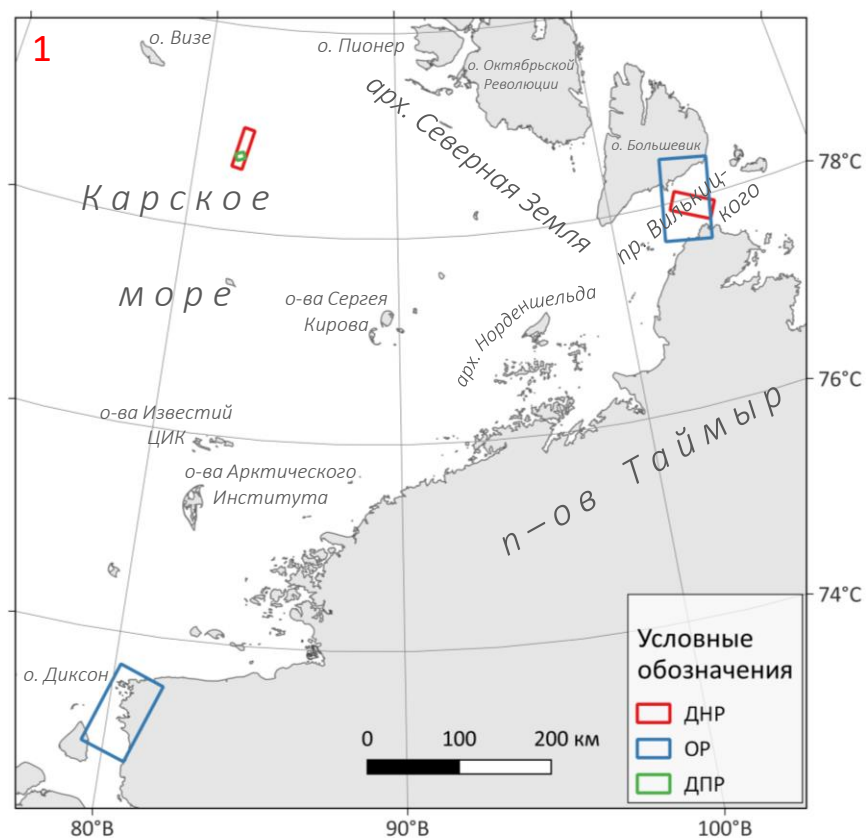
- 4 РЛИ спутника «Кондор-Э»;
- 27 РЛИ спутника «Кондор-ФКА» №1;
- 16 РЛИ спутника «Кондор-ФКА» №2

Географическое положение РЛИ спутника «Кондор-ФКА» №1



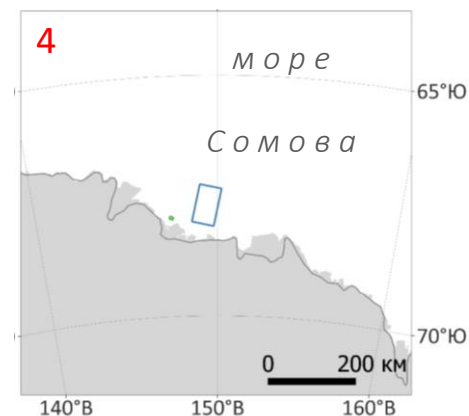
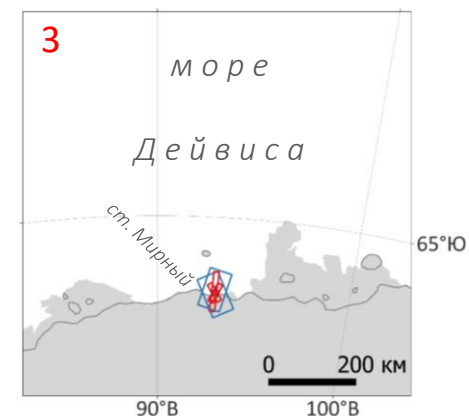
Во второй половине 2023 г. была проведена серия съёмок КА «Кондор-ФКА» №1 по заранее согласованным с НЦ ОМЗ районам. Поскольку ряд параметров льда, определяемых по спутниковым данным, в летний и зимний периоды года не одинаков, районы интереса были выбраны в северном (летний период в Арктике) и южном (зимний период в Антарктике) полушариях Земли. В Арктике съёмка проводилась в СВ части Карского моря (район 1), в Антарктике – в морях Лазарева (район 2), Дейвиса (район 3) и Сомова (район 4)

Географическое положение РЛИ спутника «Кондор-ФКА» №1



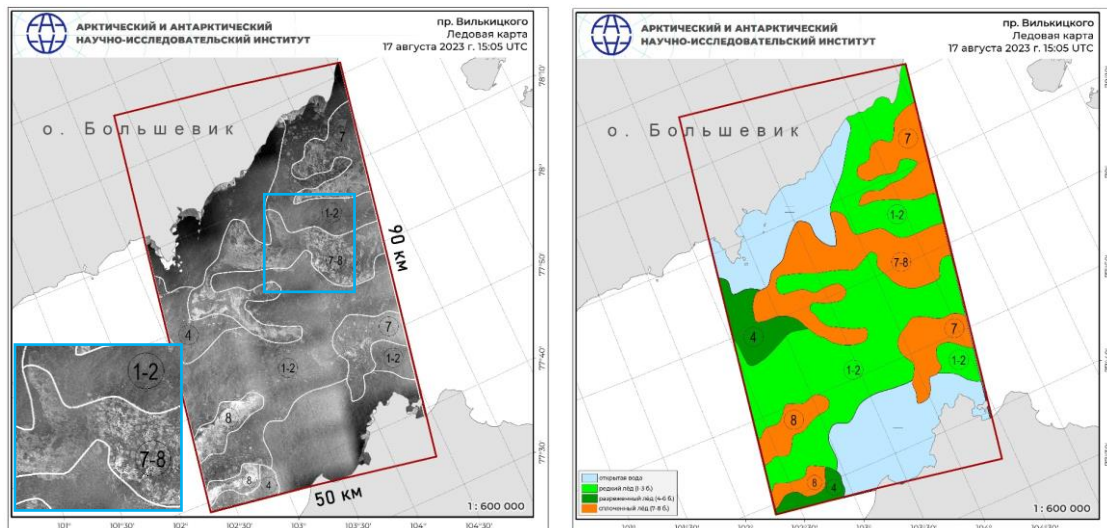
Условные
обозначения

- ДНР
- ОР
- ДПР



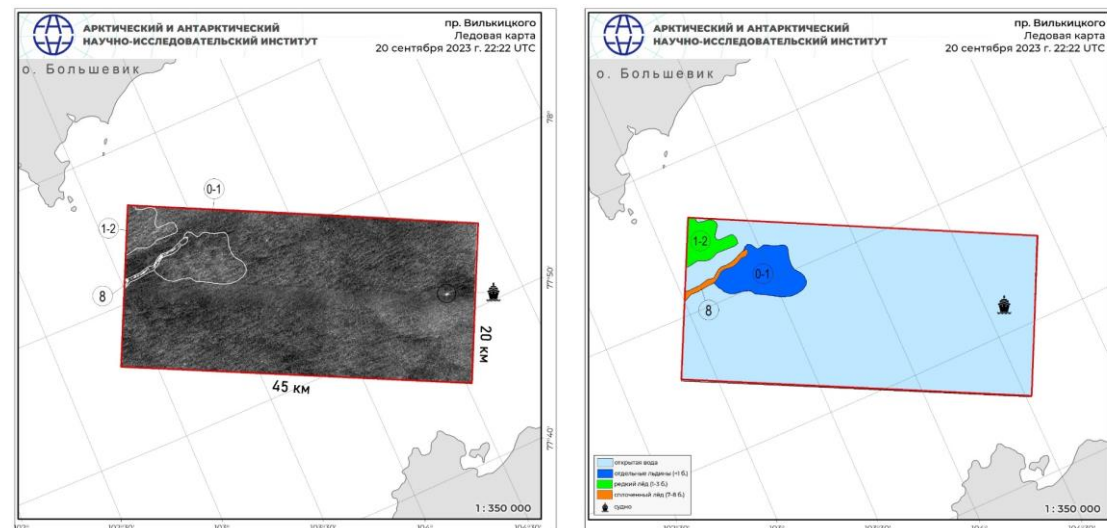
В адрес ААНИИ было передано **25 РЛИ** спутника «Кондор-ФКА» №1, полученных в разных режимах съёмки: **6 РЛИ по Арктике (2 – ДНР, 2 – ОР, 1 – ДПР и 1 – не установлен)** и **19 РЛИ по Антарктике (12 – ДНР, 5 – ОР и 2 – ДПР)**. Данные были переданы ледовым экспертам для оценки качества и анализа

Характеристики ледяного покрова, определяемые по данным спутников «Кондор-ФКА» в летний период



Аннотированное РЛИ «Кондор-ФКА» №1 и ледовая карта за 17 августа 2023 г.
Режим ОР, VV-поляризация

Центральная часть акватории пр. Вилькицкого покрыта дрейфующим льдом различной сплочённости: от 1-2 до 7-8 баллов по 10-балльной шкале. У побережий пролива отмечаются области открытой воды. Лёд представлен битыми формами.

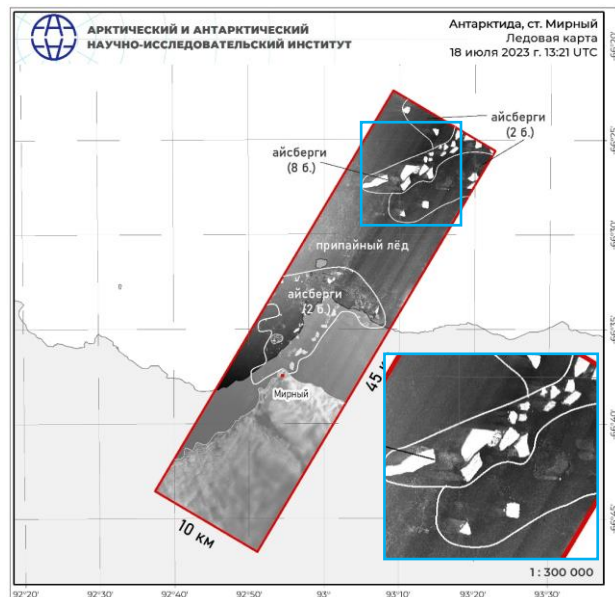


Аннотированное РЛИ «Кондор-ФКА» №1 и ледовая карта за 20 сентября 2023 г.
Режим ДНР, VV-поляризация

Акватория пр. Вилькицкого практически полностью очистилась ото льда. Отмечаются отдельные зоны дрейфующего льда сплочённостью от 0-1 до 1-2 баллов, а также узкая полоса льда сплочённостью 8 баллов в северной части пролива. Лёд представлен битыми формами.

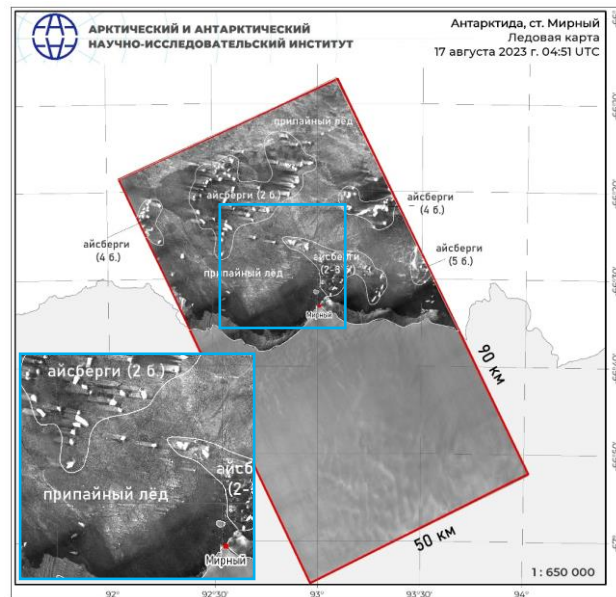
Помимо ледовых характеристик, данные «Кондор-ФКА» позволяют идентифицировать морские суда

Характеристики ледяного покрова, определяемые по данным спутников «Кондор-ФКА» в зимний период



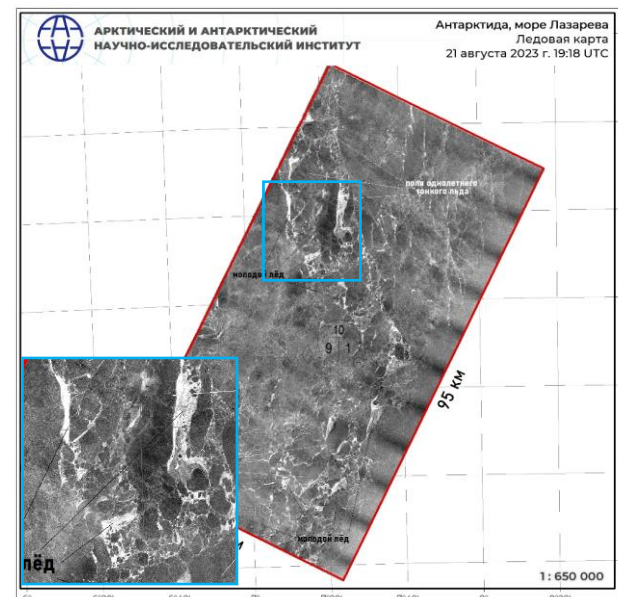
Аннотированное РЛИ «Кондор-ФКА» №1 за 18 июля 2023 г. Режим ДНР, VV-поляризация

Район вблизи ст. Мирный (море Дейвиса) покрыт припаем однолетнего льда. Отмечаются многочисленные айсберги, вмёрзшие в припай. Выделяются зоны айсбергов различной сплочённости.



Аннотированное РЛИ «Кондор-ФКА» №1 за 17 августа 2023 г. Режим ОР, VV-поляризация

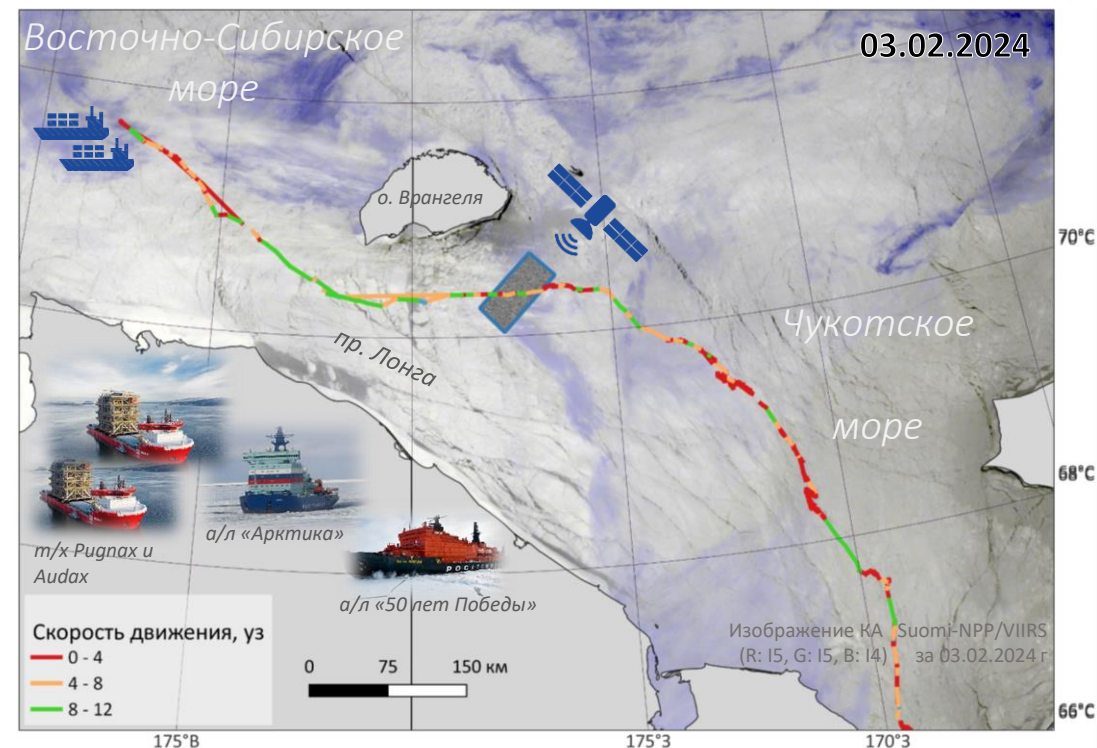
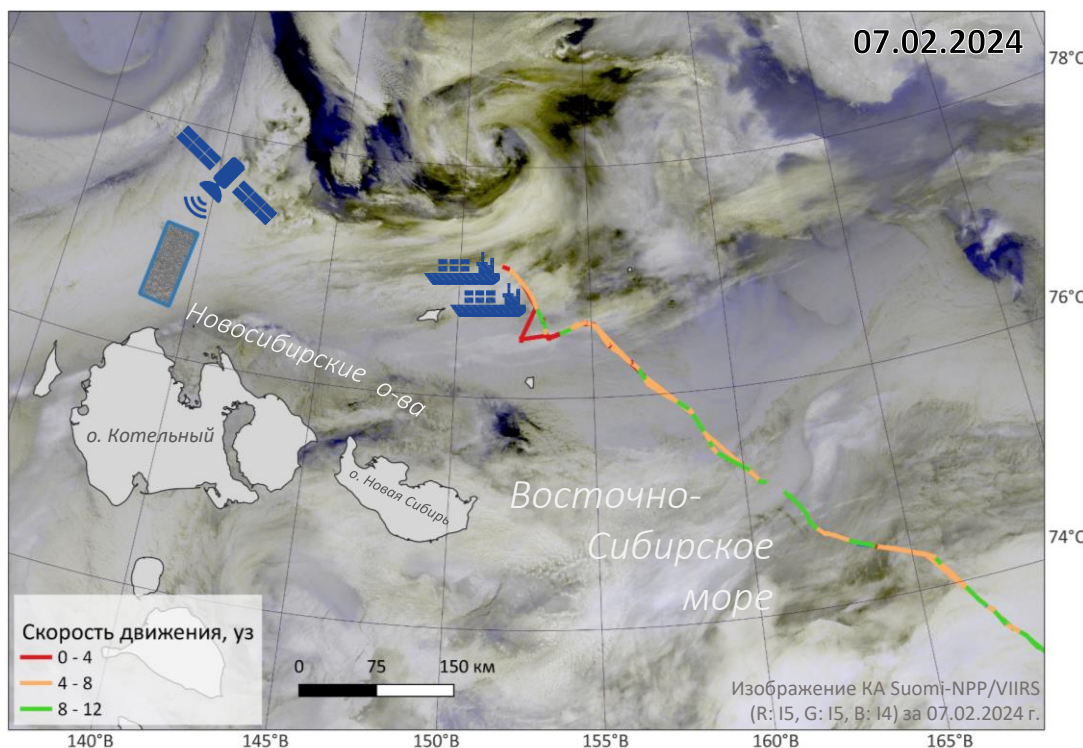
Район моря Лазарева покрыт дрейфующим льдом сплочённостью 10 баллов, из которых 9 – поля однолетнего тонкого льда (30-70 см) и 1 – молодой лёд (10-30 см), сформировавшийся в развоях между льдинами.



Аннотированное РЛИ «Кондор-ФКА» №1 за 21 августа 2023 г. Режим ОР, VV-поляризация

При анализе данных спутника «Кондор-ФКА» №1 экспертами была отмечена невязка в географическом местоположении относительно береговой черты OpenStreetMap (ДНР – от 0,05 до 8 км; ОР – от 1,3 до 3 км; ДПР – 0,4 км), а также, в некоторых случаях, высокий уровень шума

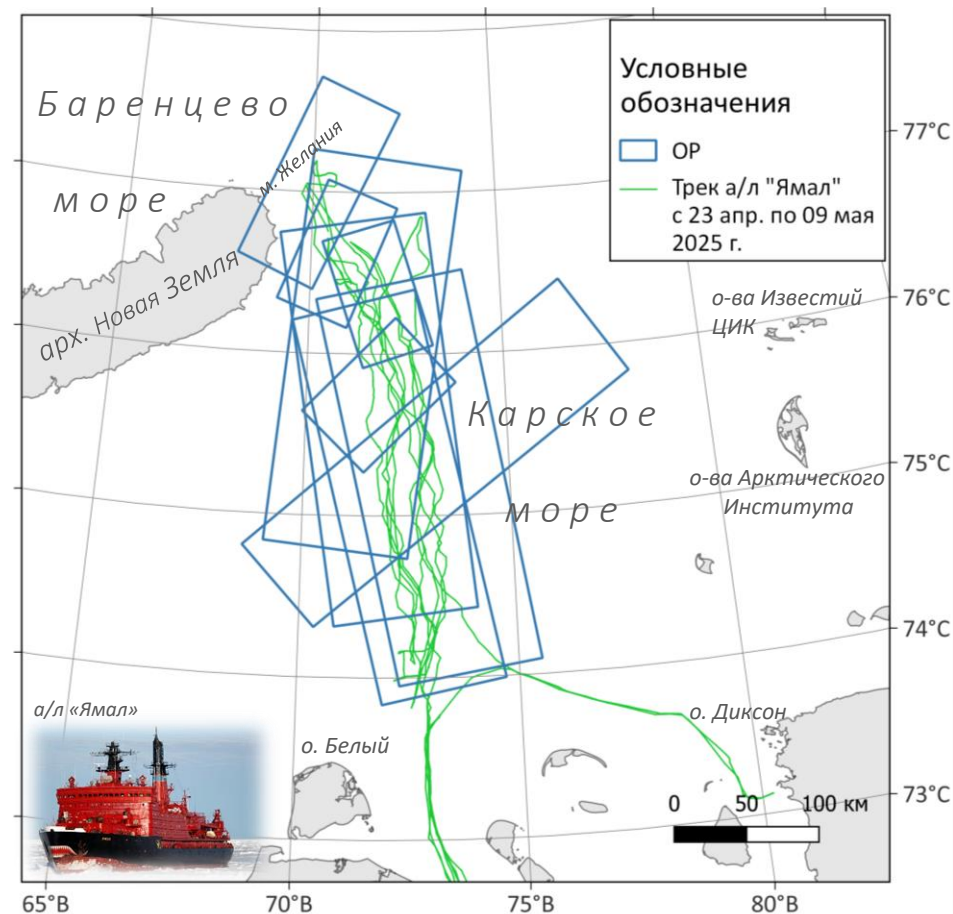
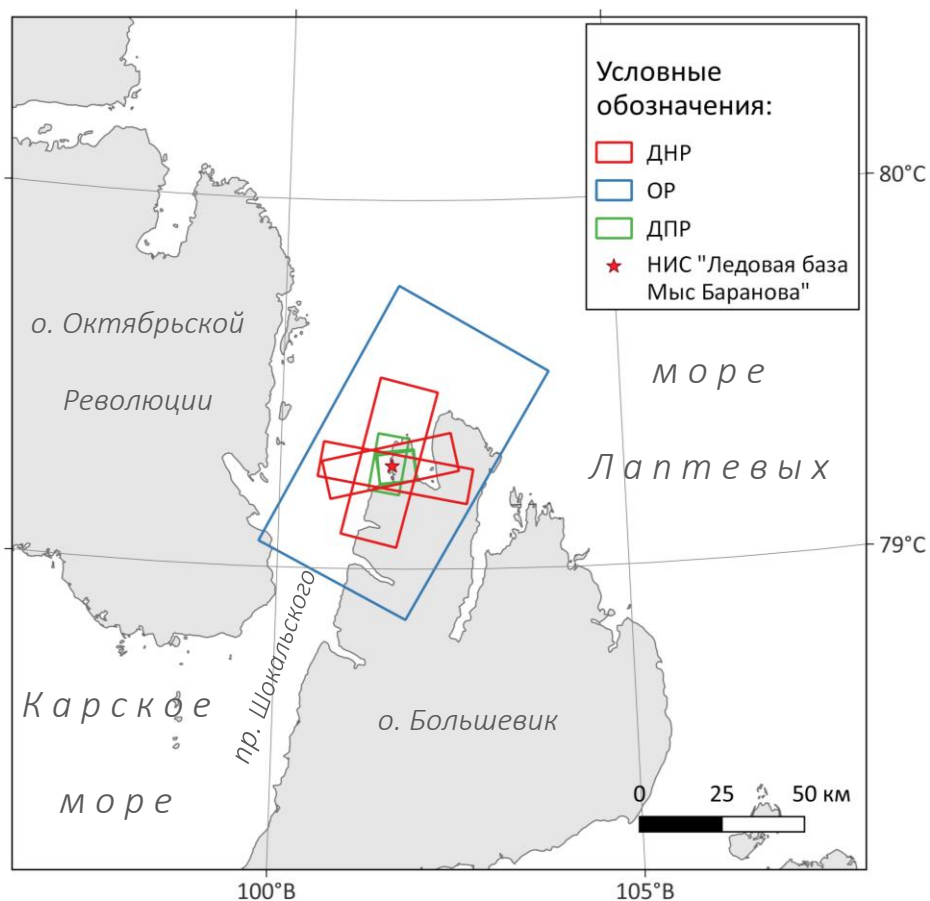
Эксперимент по применению данных спутника «Кондор-ФКА» №1 для оперативного обеспечения судоходства по трассе СМП



В январе-феврале 2024 г. состоялся транзитный рейс т/х Радуга и Аудах из Китая в п. Мурманск. В Чукотском море движение осуществлялось под проводкой а/л «Арктика». От пр. Лонга (с 02.02.2024) движение продолжилось под проводкой а/л «Арктика» и «50 лет Победы». С учётом скорости движения каравана, на **03.02.2024** и **07.02.2024** была запланирована съёмка КА «Кондор-ФКА» №1 в режиме ОР для определения характеристик льда на маршруте плавания. Ввиду сложности прогнозирования скорости движения каравана, малого охвата кадра РЛИ, а также недостаточной оперативности системы планирования, съёмка **03.02.2024** была проведена с запозданием на **≈1,4 сут**, а **07.02.2024** – с опережением на **≈4,5 сут**. При планировании съёмок в целях оперативного обеспечения судоходства необходимо привлечение данных АИС для реагирования на передвижение цели, а также сведение к минимуму временного интервала между поступлением заявки от заказчика и проведением съёмки



Географическое положение РЛИ спутника «Кондор-ФКА» №2



В мае-июне 2025 г. была проведена серия съёмок КА «Кондор-ФКА» №2 по району НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (7 РЛИ в разных режимах съёмки: 3 – ДНР, 1 – ОР и 3 – ДПР) и ЮЗ части Карского моря (9 РЛИ в режиме ОР), где в это время проходила экспедиция ААНИИ «ЛЕД-СМП-2025» на борту а/л «Вайгач» и «Ямал». Полученные РЛИ «Кондор-ФКА» №2 планируется использовать для проведения научного исследования, в ходе которого спутниковые данные будут сопоставлены с синхронными визуальными и инструментальными ледовыми наблюдениями in situ, выполненными специалистами ААНИИ. Результат в дальнейшем может быть использован при разработке алгоритмов автоматической классификации льда. Для проведения подобных исследований необходимы радиолокационные данные, содержащие значения УЭПР

Данные, получаемые в экспедициях «ЛЕД-СМП»

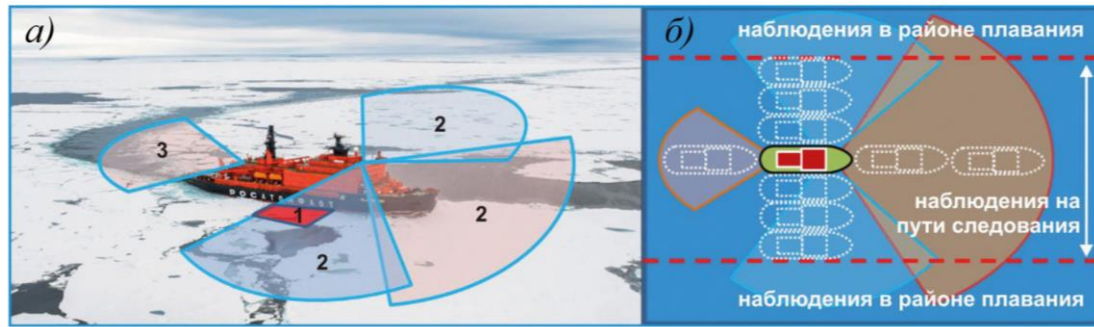


Рис. 2. Схема проведения ледовых наблюдений:

а) схема секторов и площадок ледовых наблюдений: 1 — площадка оценки толщины льда по боковым сколам выворачиваемых льдин, 2 — секторы обзорных наблюдений состояния ледяного покрова, 3 — сектор оценки сжатия; б) вид сверху [Афанасьева, Сероветников и др., 2022]

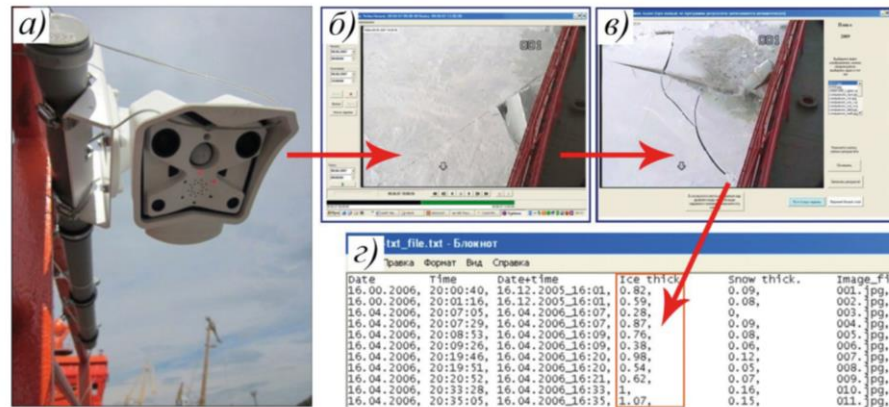


Рис. 5. Схема избирательной оценки толщины льда, выполняемой ледовым наблюдателем с помощью блока толщиномера СТК.

а) внешний вид основного видеорегистратора СТК; б) интерфейс специализированного программного обеспечения (ПО) для отбора изображений выворотов льда; в) интерфейс специализированного ПО для определения толщины льда; г) таблица выходных данных [Афанасьева, Сероветников и др., 2022]

Визуальные судовые ледовые наблюдения:

- общая сплоченность льда;
- количество льдов разного возраста;
- формы каждой возрастной градации льда (горизонтальный размер ледяных полей);
- толщина ровного льда каждой возрастной градации;
- общая торосистость ледяного покрова;
- наслоенность ниласовых и молодых льдов;
- заснеженность и высота снежного покрова;
- наличие и интенсивность сжатия в ледяном покрове;
- сопутствующие метеорологические параметры (температура воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, осадки, погодные явления)

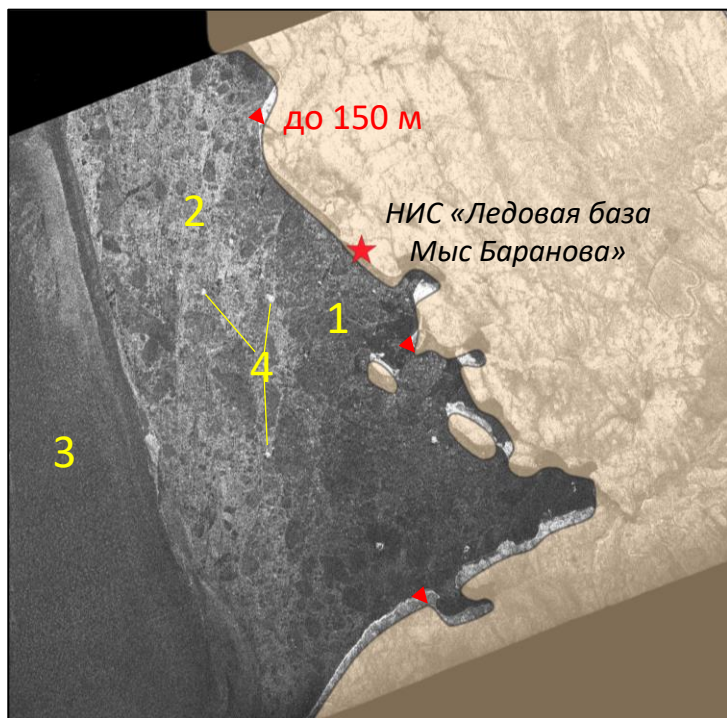
и др.;

Инструментальные наблюдения с применением судового телевизионного комплекса (СТК):

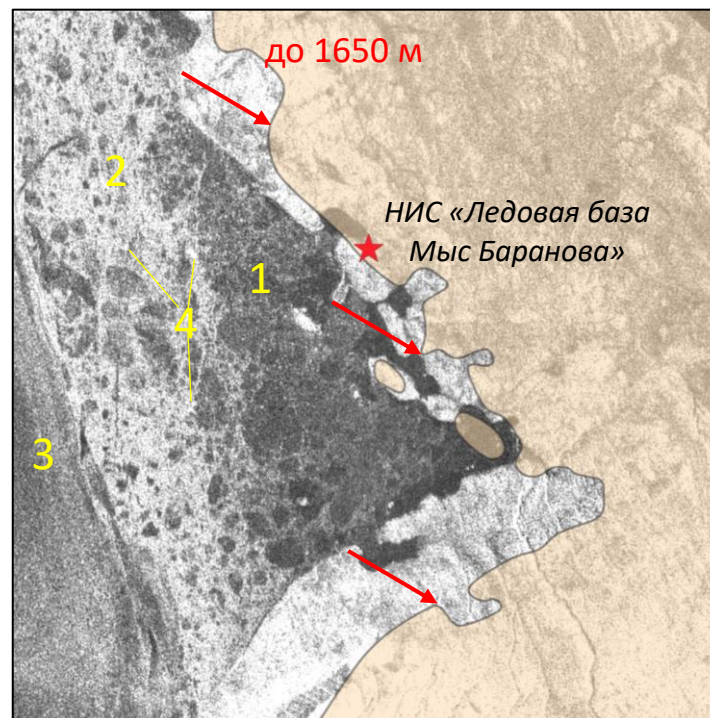
- толщина ровного льда;
- высота снега;
- текстура ледяной толщи.

Наблюдение и фиксация всех вышеперечисленных параметров ведется непрерывно (24/7) на протяжении всего рейса.

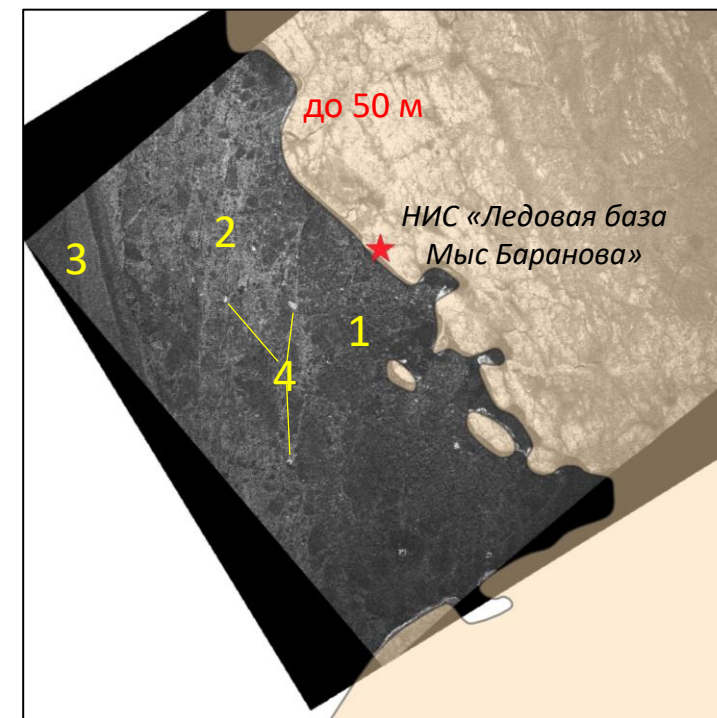
Характеристики ледяного покрова, определяемые по данным спутников «Кондор-ФКА» в зимний период



РЛИ «Кондор-ФКА» №2 за 18 мая 2025 г., 22:00 UTC.
Режим ДНР, НН-поляризация



РЛИ «Кондор-ФКА» №2 за 08 мая 2025 г., 17:07 UTC.
Режим ОР, VV-поляризация

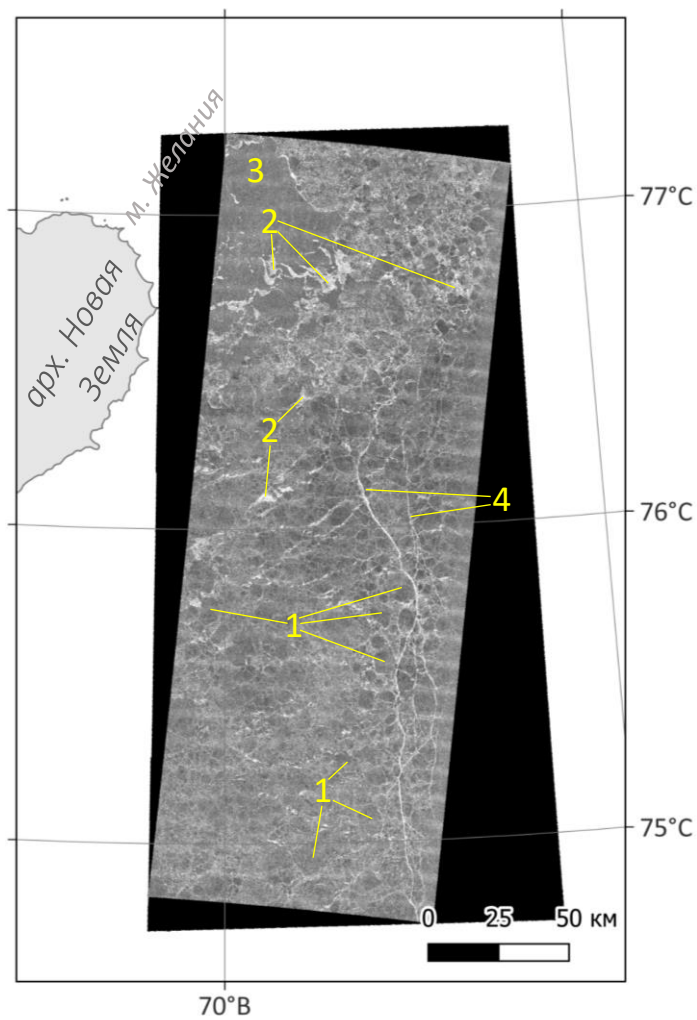


РЛИ «Кондор-ФКА» №2 за 02 июня 2025 г., 20:44 UTC.
Режим ДПР, НН-поляризация

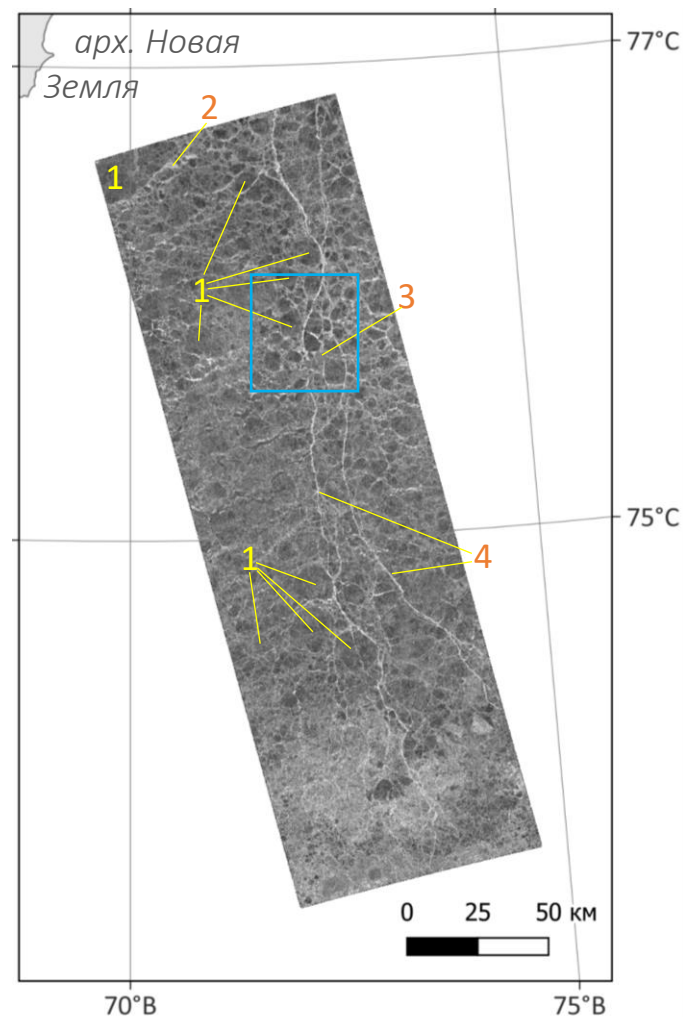
Акватория бух. Амба (о. Большевик) покрыта припаем однолетнего ровного льда с отдельными грядами торосов. На выходе из бухты хорошо видна зона однолетнего льда с высоким баллом торосистости. В пр. Шокальского, за пределами бух. Амба, отмечается ровный однолетний лёд, сформированный в полынье в начале зимы. **1** – Однолетний ровный лёд с отдельными грядами торосов; **2** – Торосистый однолетний лёд; **3** – Ровный однолетний лёд (замёрзшая полынья); **4** – Вмёрзшие айсберги

Невязка в географическом местоположении данных спутника «Кондор-ФКА» №2 относительно береговой черты OpenStreetMap составила в ДНР – до 150 м, ОР – до 1650 м, ДПР – не более 50 м.

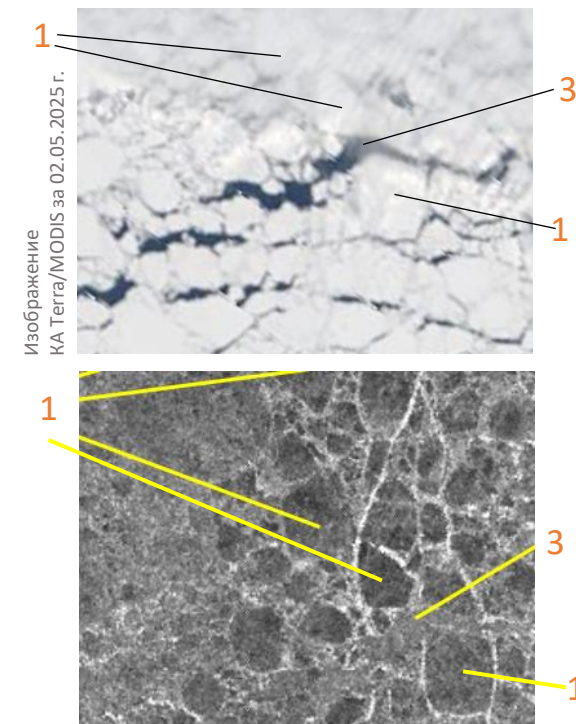
Характеристики ледяного покрова, определяемые по данным спутников «Кондор-ФКА» в зимний период



РЛИ «Кондор-ФКА» №2 за 01 мая 2025 г.,
17:37 UTC. Режим ОР, VV-поляризация

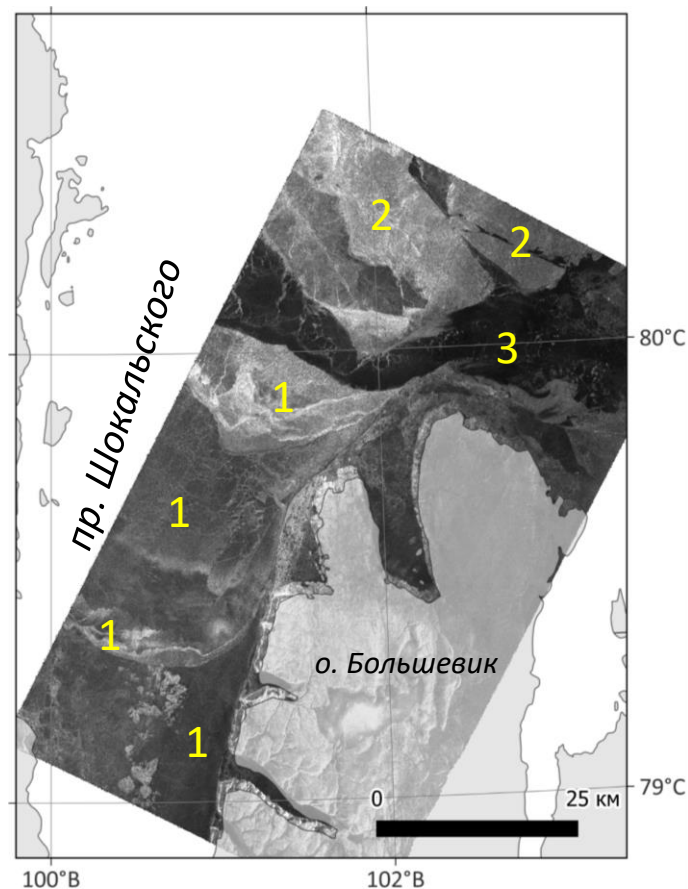


РЛИ «Кондор-ФКА» №2 за 02 мая 2025 г.,
04:34 UTC. Режим ОР, VV-поляризация

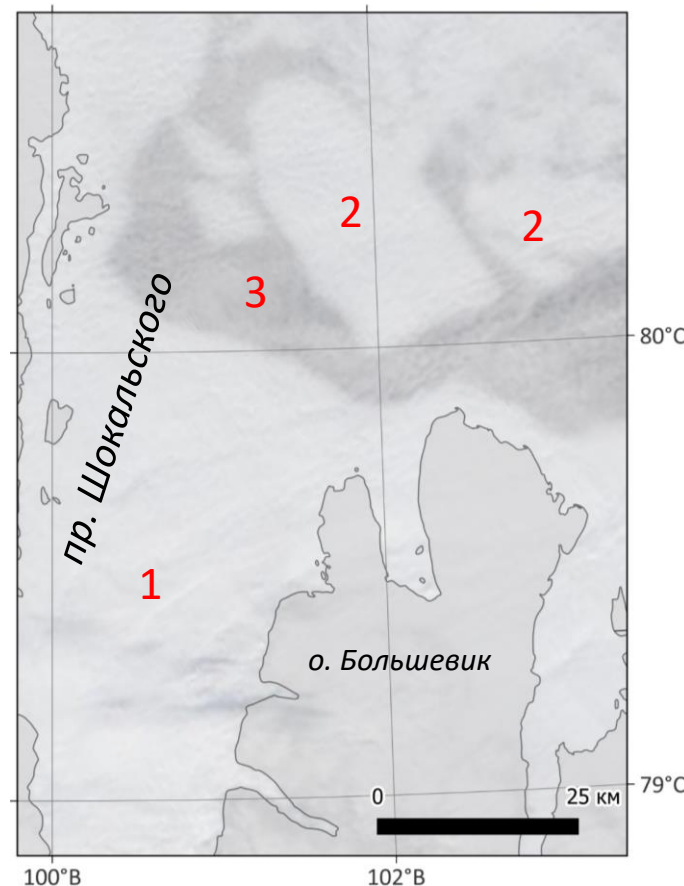


1 – Поля однолетнего льда; **2** – Молодой лёд в раздвоях; **3** – Открытая вода; **4** – Каналы во льду, оставленные судами

Характеристики ледяного покрова, определяемые по данным спутников «Кондор-ФКА» в зимний период



РЛИ «Кондор-ФКА» №2 за 08 мая 2025 г.,
17:07 UTC. Режим ОР, VV-поляризация

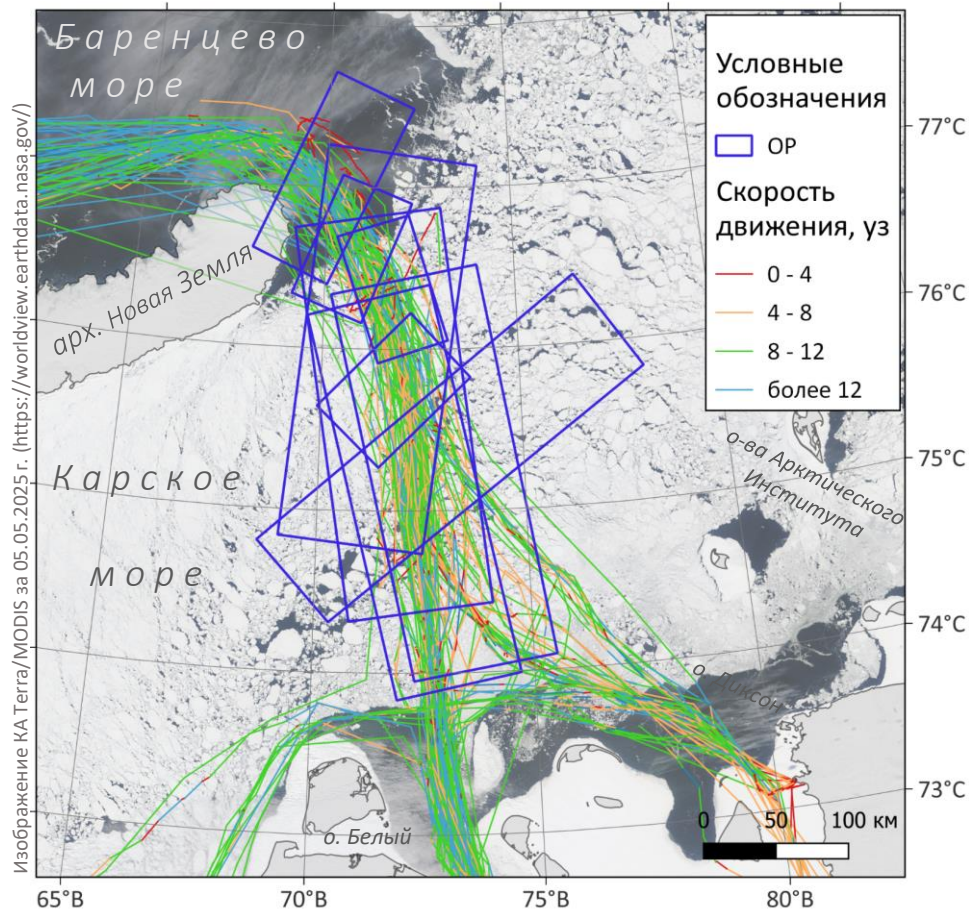


Изображение Terra/MODIS за 08 мая 2025 г. в
видимом диапазоне
(<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>)

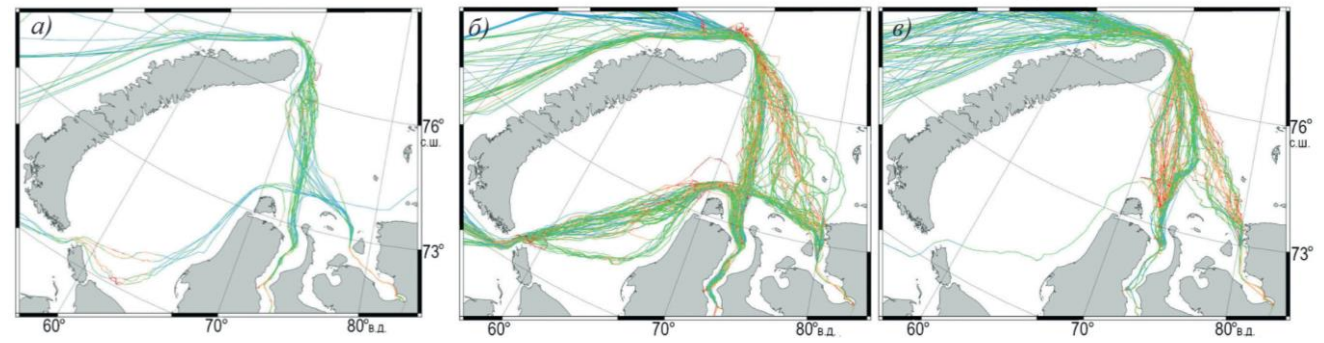
Акватория пр. Шокальского покрыта припаем однолетнего льда. На РЛИ «Кондор-ФКА» №2 видны этапы становления припая. За границей припая в море Лаптевых отмечается полынья, покрытая ниласовыми льдами. Севернее полыньи видны поля оторванного припая.

1 – Припай однолетнего льда; **2** – Поля оторванного припая; **3** – Нилас

Применение данных спутников «Кондор-ФКА» для оперативного обеспечения судоходства по трассе СМП



Судовой трафик в юго-западной части Карского моря с 22 апреля по 15 мая 2025 г. и расположение кадров РЛИ «Кондор-ФКА» №2 с 01 по 08 мая 2025 г.



Маршруты плавания ледоколов и судов ледового класса Arc7 в ЮЗ части Карского моря с 19 апреля по 20 мая 2015 (а), 2023 (б) и 2024 (в) гг. [Алексеева и др., 2024]

← При визуальной оценке данных КА «Кондор-ФКА» №2 по району работы а/л «Ямал» в Карском море было отмечено хорошее покрытие судоходной трассы от Обской губы до м. Желания (арх. Новая Земля), где в период проведения съёмки был сконцентрирован судовой трафик. Это позволяет заключить, что **использование данных КА «Кондор-ФКА» для нужд СГМО может быть более эффективным в районах с интенсивным судоходством, чем при сопровождении одиночного судна или каравана судов**, поскольку в первом случае информация необходима множеству судов ежедневно, а во втором – существует риск ошибки при планировании съёмки

Выводы

Общие:

- Радиолокационные данные S-диапазона спутников «Кондор-ФКА» в **летний период** позволяют определять следующие характеристики ледяного покрова: **кромка и границы зон различной сплочённости дрейфующего льда, форма дрейфующего льда** (формы неподвижного льда и льды материкового происхождения не были представлены на полученных РЛИ);
- В **зимний период**, помимо вышеперечисленных характеристик, определяются: **положение границ припая, льда различного возраста, зон с высоким баллом торосистости**. Также хорошо дешифрируются **ледники и айсберги**;

Для задач оперативного СГМО морских операций:

- При планировании съёмок в целях обеспечения проводки судна (или каравана судов) необходимо привлечение данных АИС для реагирования на передвижение цели;
- При обеспечении проводки судна (или каравана судов) необходимо сокращение временного интервала между поступлением заявки от заказчика и проведением съёмки;
- Обеспечение в районах с интенсивным судоходством может быть более эффективным, чем сопровождение одиночного судна (или каравана судов);
- Невязка в географическом местоположении может усложнить использование данных КА «Кондор-ФКА» для избирательного плавания судов во льдах;

Для научных задач:

- Преимущества и ограничения S-диапазона при определении характеристик морского льда представляют большой интерес, однако для их выявления необходимы данные, содержащие значения УЭПР. Исследования в данном направлении необходимы для дальнейшей разработки алгоритмов автоматической классификации льда по спутниковым РЛИ

Спасибо за внимание!