

XXI международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"



Возможность обнаружения лежбищ моржей в Арктике с помощью открытых радиолокационных изображений

Кучейко А.А.(1,2), Бадак Л.А.(2), Светличная Е.В.(1), Чукмасов П. В.(3), Ткачук М. О.(1), Литвинович Н. В.(1).

1. Московский авиационный институт (научный исследовательский университет), Москва
2. Научный Центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы», Москва
3. ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва

13 – 17 ноября 2023 г., Москва



Цели

Целью работы является оценка возможности применения открытых спутниковых РЛИ среднего и низкого пространственного разрешения (10-40 м) для обнаружения крупных скоплений моржей на песчаных побережьях Арктики путем сравнительного анализа оптических снимков и РЛИ из открытых источников.

**КРАСНАЯ КНИГА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ЖИВОТНЫЕ

МОСКВА
2021

Морж

Odobenus rosmarus (Linnaeus, 1758)

Отряд Хищные – Carnivora

Семейство Моржовые – Odobenidae

В Красную книгу Российской Федерации занесены два подвида – атлантический и лаптевский.



Атлантический подвид – категория 2-НД-II

Odobenus rosmarus rosmarus (Linnaeus, 1758)

2 – сокращающийся в численности и/или в распространении подвид;

НД – недостаточно данных;

II - приоритет природоохранных мер.

Лаптевский подвид - категория 3-НД-II

Odobenus rosmarus laptevi (Chapskii, 1940)

3 – редкий подвид;

НД – недостаточно данных;

II - приоритет природоохранных мер.

Актуальность проблемы

- Недостаточная изученность моржей и мест их обитания в Арктике, особенно лаптевского подвида, получение новых сведений о моржах как о виде;
- Систематизирование данных о состоянии и размещении популяции для корректировки деятельности компаний, защита морских млекопитающих от техногенных угроз;
- Сокращение и оптимизация расходов на экспедиционную деятельность в Арктике;
- Снижение факторов беспокойства и экологический мониторинг Арктического региона.

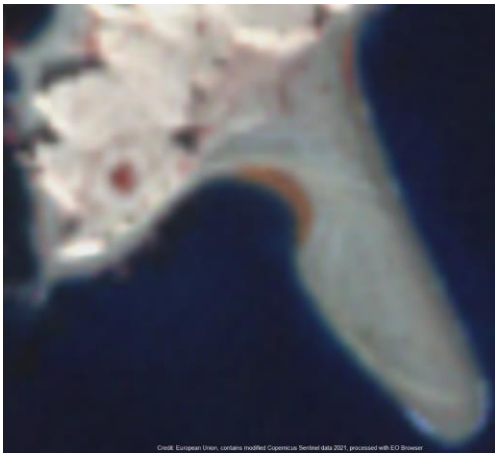
Морж – один из видов-индикаторов устойчивого состояния морских экосистем Арктической зоны Российской Федерации (распоряжение Минприроды России N 25-р от 22.09.2015)

Космические технологии
для изучения и сохранения
морских млекопитающих Арктики



Одна из первых в мире методика обнаружения и анализа залежек моржей по высокодетальной спутниковой съёмке была опробована в 2011–2014 гг. в совместном проекте ИТЦ СКАНЭКС, Совета по Морским млекопитающим и природоохранной организацией. Использовались панхроматические изображения коммерческого КА EROS-B (0,7 м/пикс.) компании-оператора ImageSat Int. (Израиль).

Космические технологии для изучения и сохранения морских млекопитающих Арктики. Итоги пилотного проекта по отработке методики обнаружения моржей на космических снимках / А. Болтунов, Н. Евтушенко, А. Книжников, М. Пухова, В. Семёнова. – Мурманск, 2012. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24889294>



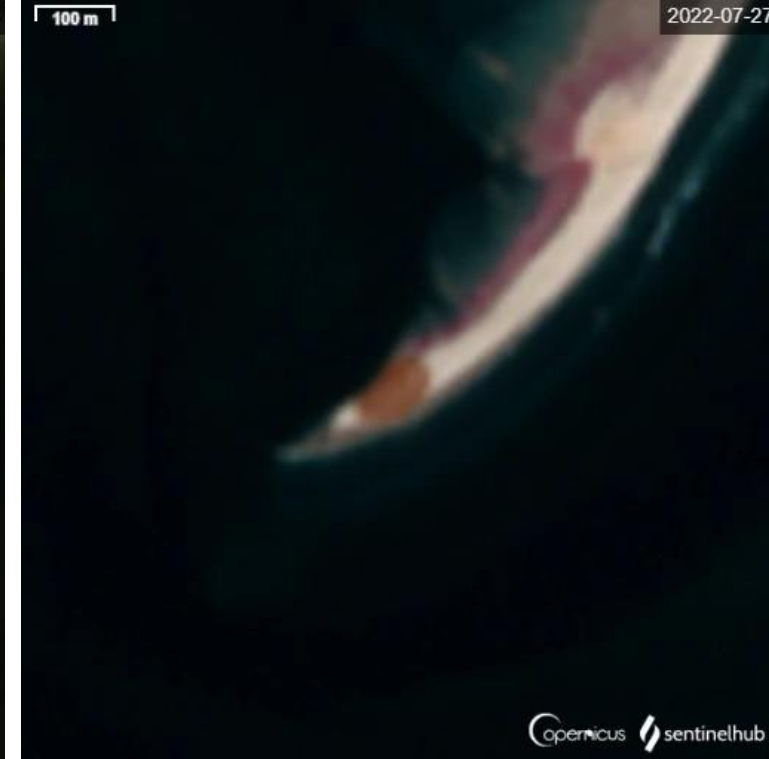
Для валидации и калибровки снимков среднего разрешения применяются квазисинхронные снимки сверхвысокого разрешения с КА и БПЛА или фото полевых обследований. 31.08.2021. Sentinel-2, фотоловушка ВФП, НП «Русская Арктика».

Состояние проблемы

- Опыт одной из первых в мире кампаний по спутниковому мониторингу лежбищ моржей с помощью **детальных оптических космоснимков** в 2011–2014 годах.
- Практическое применение **открытых космоснимков** среднего разрешения (Sentinel, Landsat), а также «Канопус-В» для систематического контроля лежбищ и получения **сведений о моржах** как о виде;
- Продемонстрирована возможность определения **параметров лежбищ**: – **примерные сроки формирования**, – **размеры, форма и координаты**, – **динамика** изменения его положения и площади. При наличии валидационных данных с БПЛА, КА СВР и фотоловушек получены оценки **числа зверей** на лежбищах. Обнаружены новые малоразмерные лежбища.



Комбинация каналов RGB

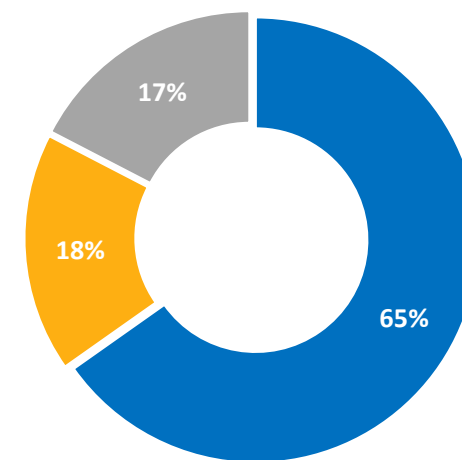


Комбинация ближнего инфракрасного, красного и зеленого каналов



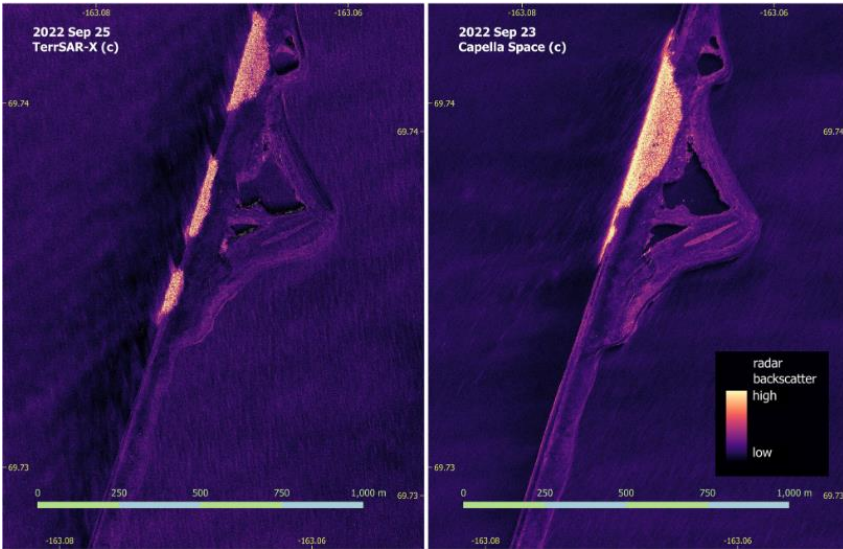
Ограничения на использование ОПТИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Облачность за июль-сентябрь 2022



- облачность 100%
- частичная облачность
- ясно

Применение РЛИ



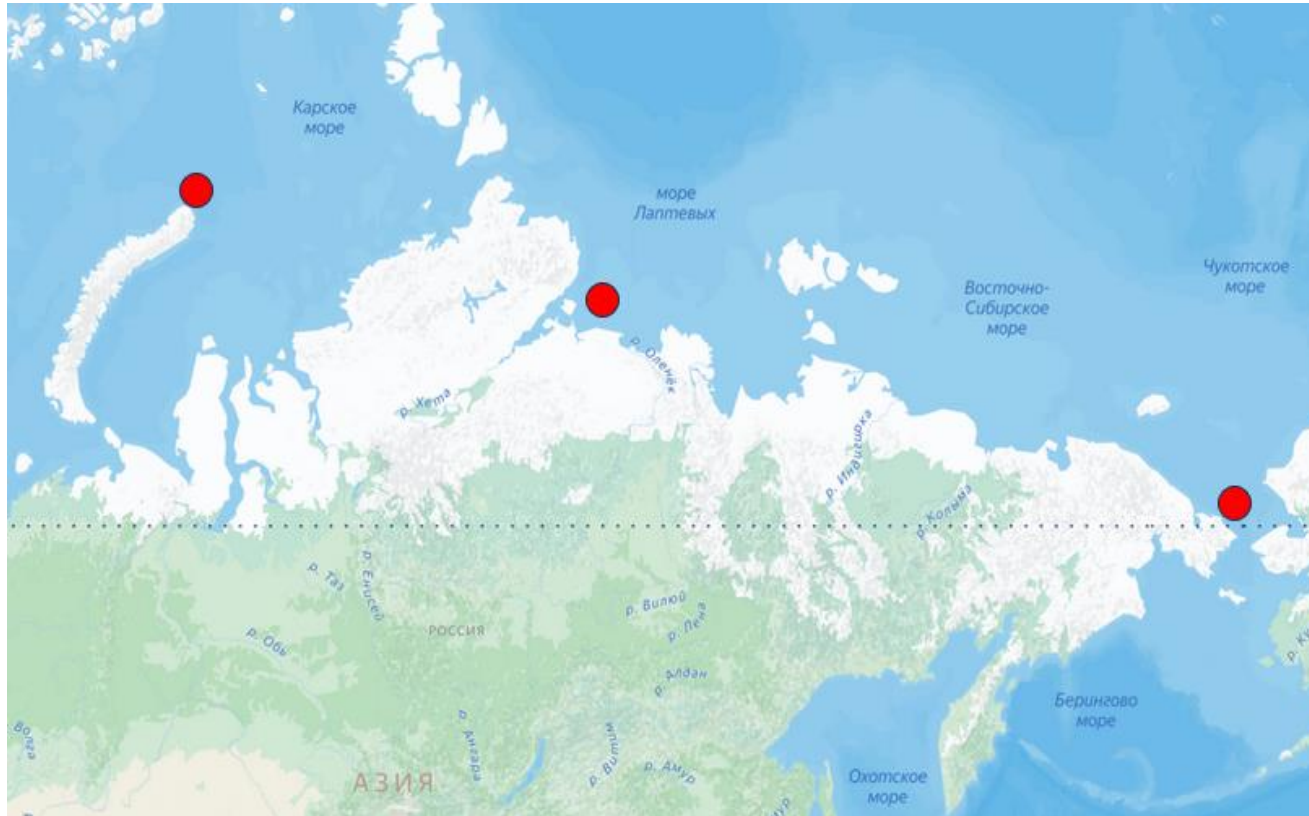
С увеличением разрешения РСА повышается информативность РЛИ по моржам на лежбищах. На картах значений обратного рассеяния отображено лежбище Point Lay, Аляска, с использованием псевдоцветового градиента, оптимизированного для визуального отображения плотности залегания моржа. РЛИ TerraSAR-X ©DLR и Capella Space, 2022. <https://www.capellaspace.com/researchers-turn-to-synthetic-aperture-radar-sar-satellite-imagery-to-monitor-pacific-walruses-as-ice-melt-increases-in-the-arctic/>



Снимок лежбища Point Lay, Аляска с БПЛА. Fischbach, A.S.; Douglas, D.C. Evaluation of Satellite Imagery for Monitoring Pacific Walruses at a Large Coastal Haulout. *Remote Sens.* 2021, 13, 4266. <https://doi.org/10.3390/rs13214266>
<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/21/4266>

- Публикации по использованию РЛИ для мониторинга лежбищ моржа появились в 2021–2022 годах в связи с активным применением детальных РЛИ коммерческих операторов (TerraSAR-X, ICEYE, Capella). Обзорные открытые РЛИ Sentinel-1 решают вспомогательные задачи.
- Исследовались известные крупноразмерные лежбища тихоокеанского подвида моржа, расположенные на побережье Аляски.
- Пока отсутствуют исследования возможностей РЛИ из открытых источников на разных видах поляризации и режимах съемки.

Районы исследования



- В качестве районов исследования были выбраны три крупных лежбища:
- Лаптевского подвида моржа на острове Песчаный в море Лаптевых (основной район);
 - Атлантического подвида моржа на о. Большой Оранский Восточный в Баренцевом море;
 - Тихоокеанского подвида моржа в бухте Кэнискин на Чукотке.

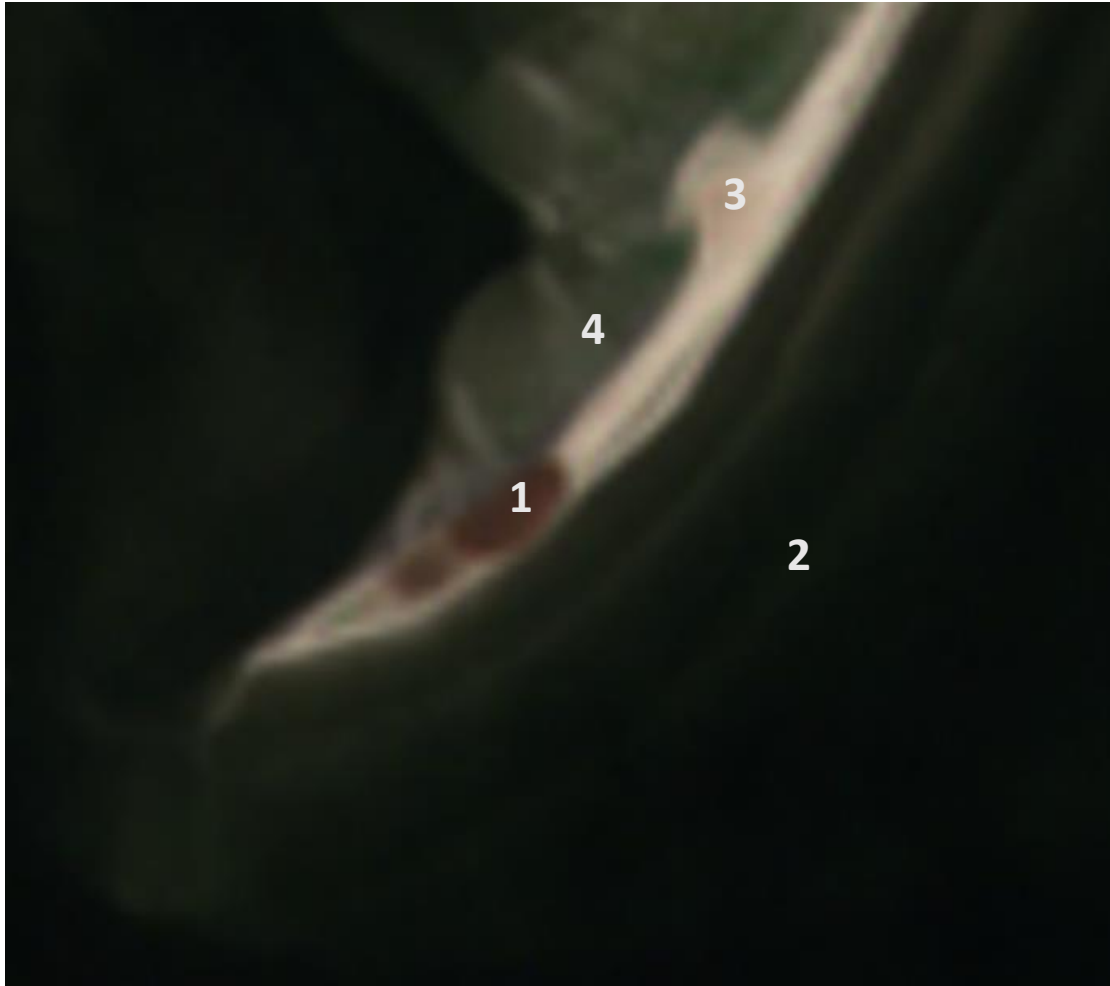
Поиск пар снимков

Пары снимков на о. Песчаный в съёмочном сезоне 2018 г.

| Оптический снимок Sentinel-2 | РЛИ Sentinel-1, режим IW |
|------------------------------|--------------------------|
| 31.07.2018 | 31.07.2018 |
| 12.08.2018 | 12.08.2018 |
| 22.08.2018 | 24.08.2018 |
| 06.09.2018 | 05.09.2018 |
| 17.09.2018 | 17.09.2018 |
| 27.09.2018 | 29.09.2018 |
| 12.10.2018 | 11.10.2018 |
| Съёмочный сезон завершен | 23.10.2018 |
| Съёмочный сезон завершен | 04.11.2018 |

На первом этапе проведен поиск и отобраны пары оптических снимков Sentinel-2 и РЛИ Sentinel-1 в разных режимах съёмки IW и EW на одни и те же или близкие даты на районы исследования.

Тестовые полигоны на о. Песчаный



Для оценки возможности выделения лежбищ моржей на различном фоне по величине удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) на РЛИ были выделены четыре типа тестовых полигонов:

- 1) лежбище моржей,
- 2) водная поверхность,
- 3) сухой и 4) влажный участок береговой линии.

Сравнение снимков. Остров Песчаный

200 m 2020-09-10



Оптическое мультиспектральное изображение

Комбинация каналов RGB 4:3:2

время съемки UTC 05:06 UTC

200 m 2020-09-10



РЛИ Sentinel-1

режим IW, поляризация ВВ

время съемки 09:08 UTC

Сравнение снимков. Остров Песчаный

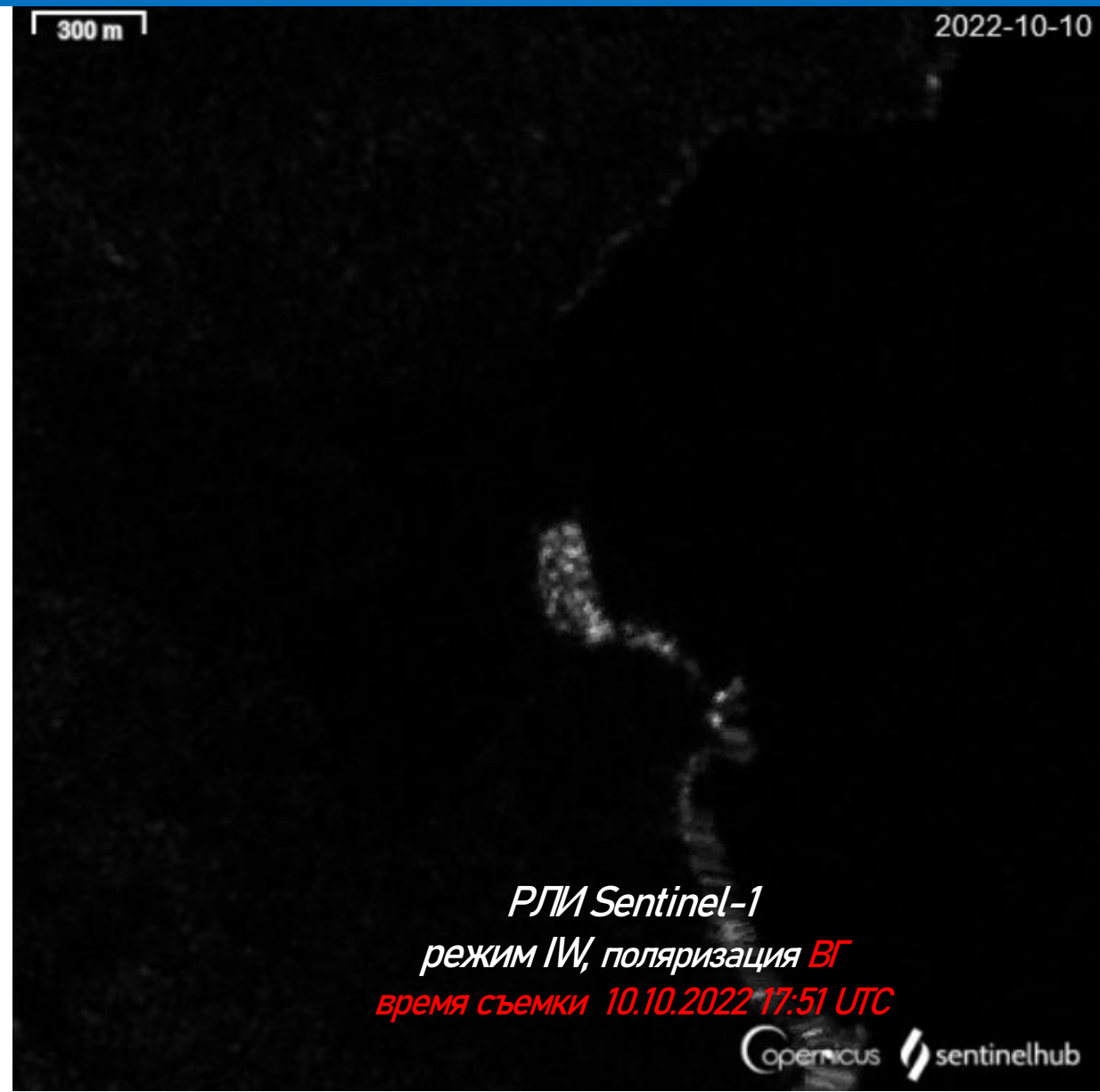


Средний процент отклонения площади лежбища равен 13,6%

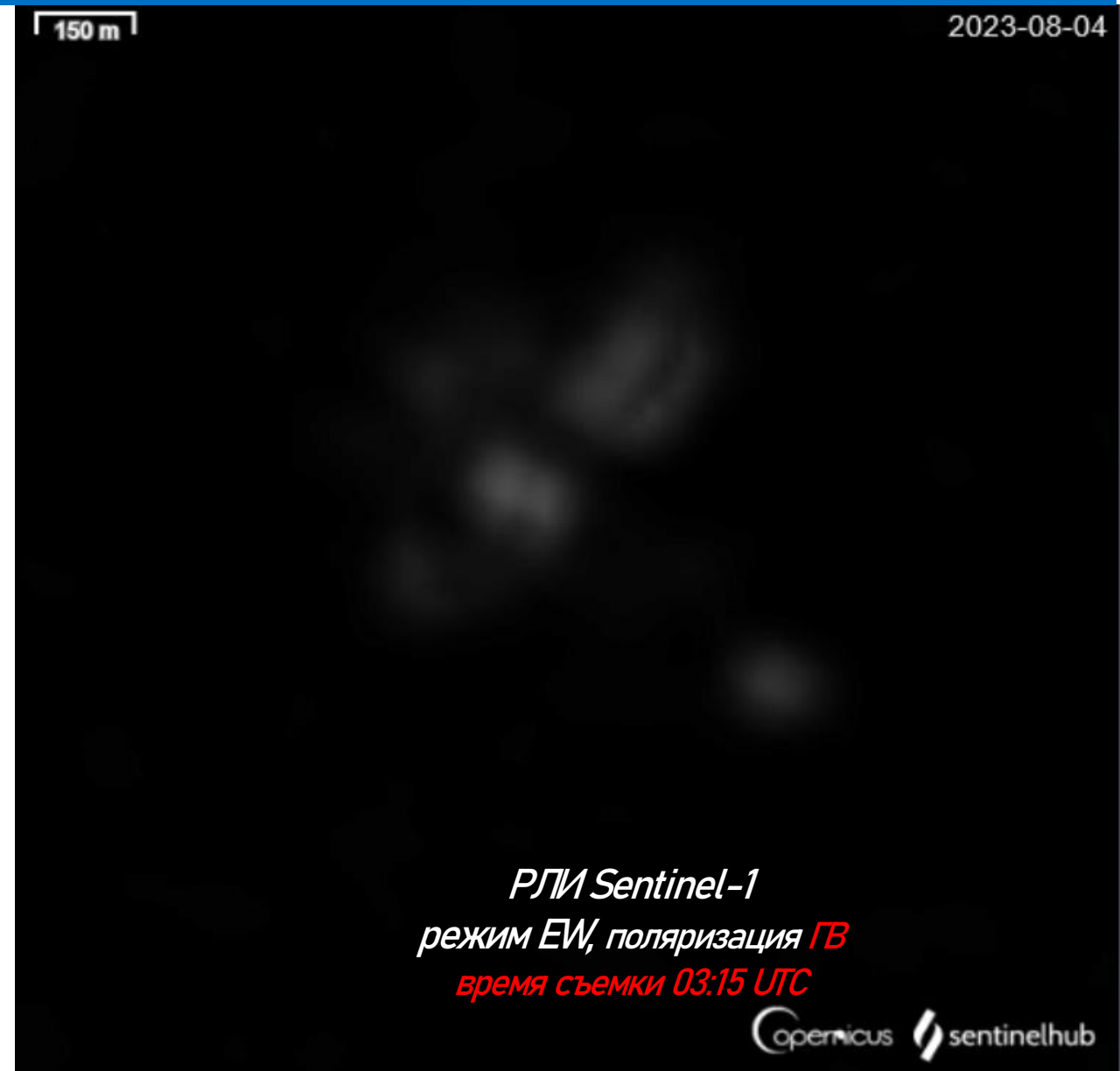
Оптическое мультиспектральное изображение
Комбинация каналов RGB 4:3:2
время съемки 05:16 UTC

РЛИ Sentinel-1
режим IW, поляризация ВВ
время съемки 23:00 UTC

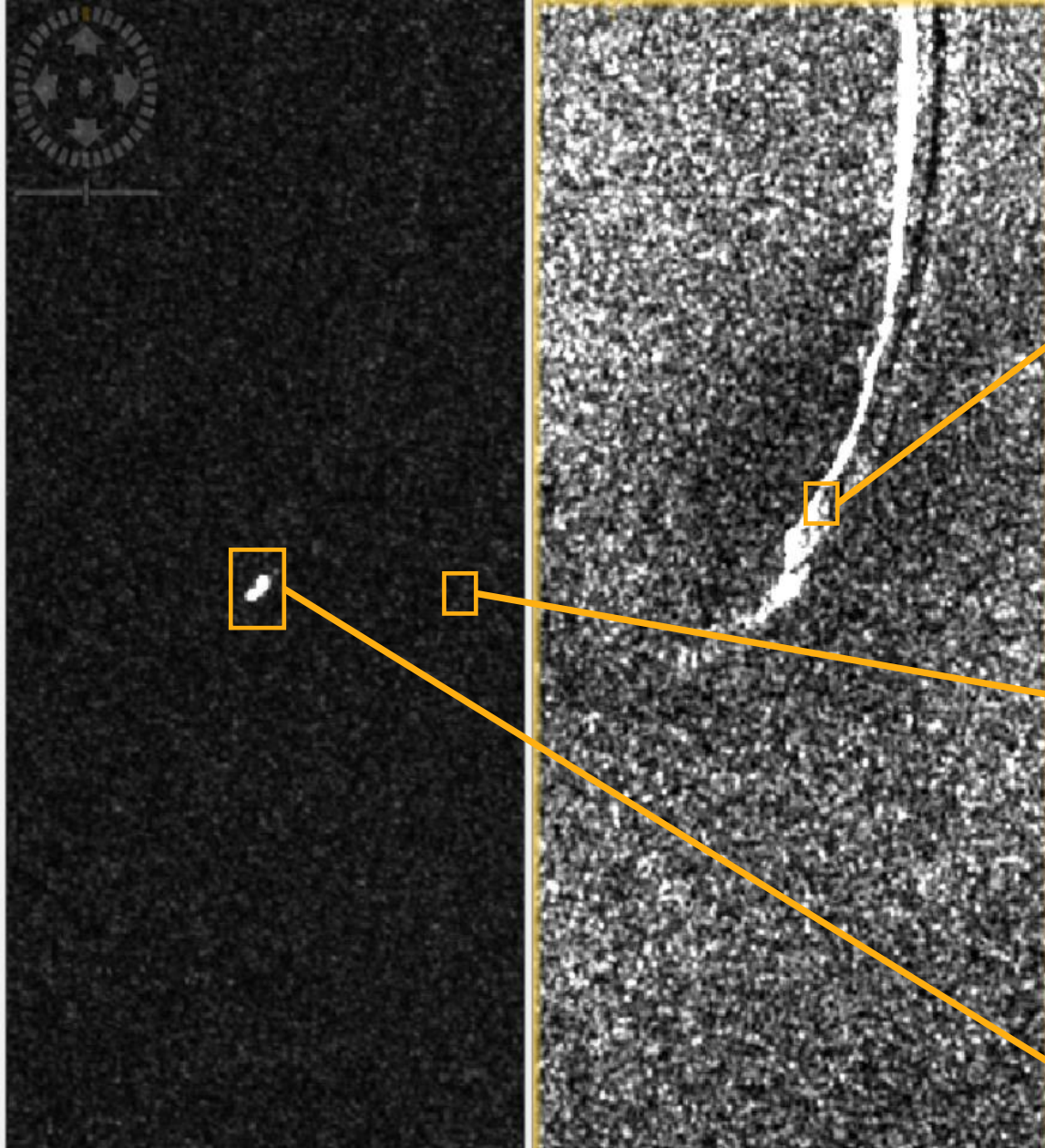
Сравнение снимков. Бухта Кэнискин, Чукотка



Сравнение снимков. Остров Большой Оранский



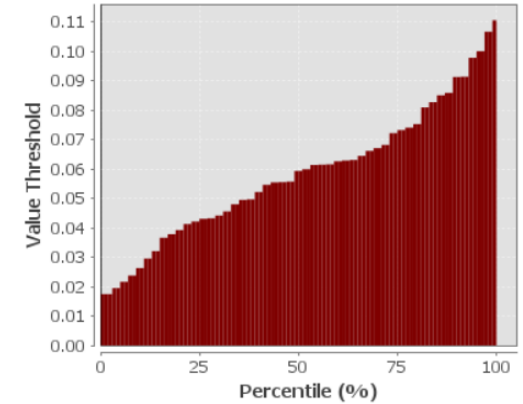
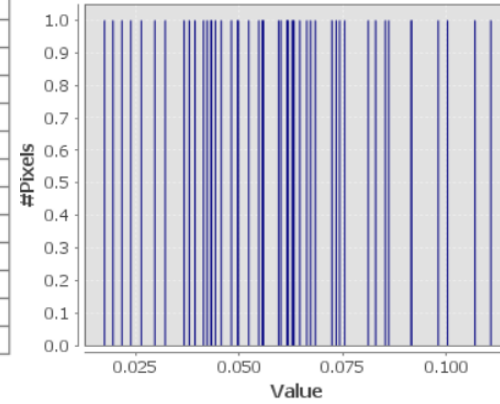
Сравнение поляризаций и УЭГР



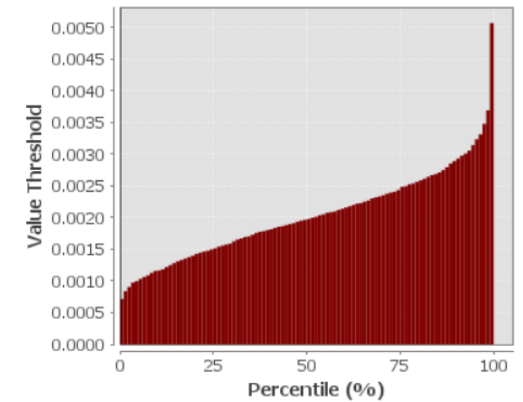
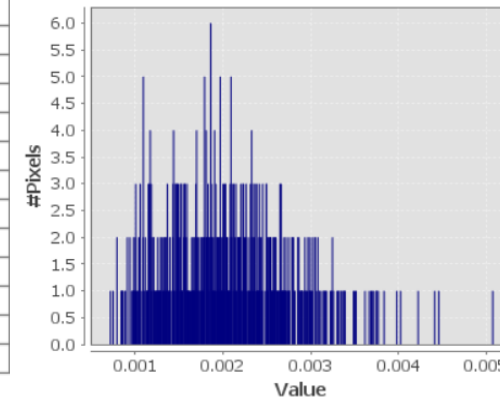
ВГ

BB

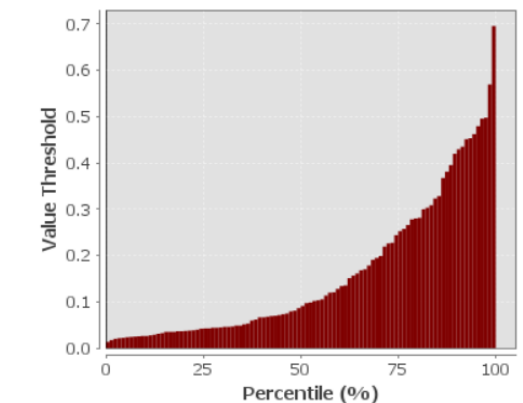
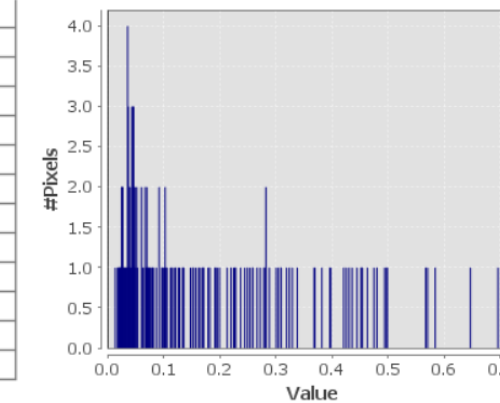
| | |
|-----------------|-----------|
| #Pixels total: | 50 |
| Minimum: | 0.0174 |
| Maximum: | 0.1106 |
| Mean: | 0.0590 |
| Sigma: | 0.0229 |
| Median: | 0.0597 |
| Coef Variation: | 0.3838 |
| ENL: | 6.7884 |
| P75 threshold: | 0.0732 |
| P80 threshold: | 0.0753 |
| P85 threshold: | 0.0851 |
| P90 threshold: | 0.0913 |
| Max error: | 9.3148E-5 |



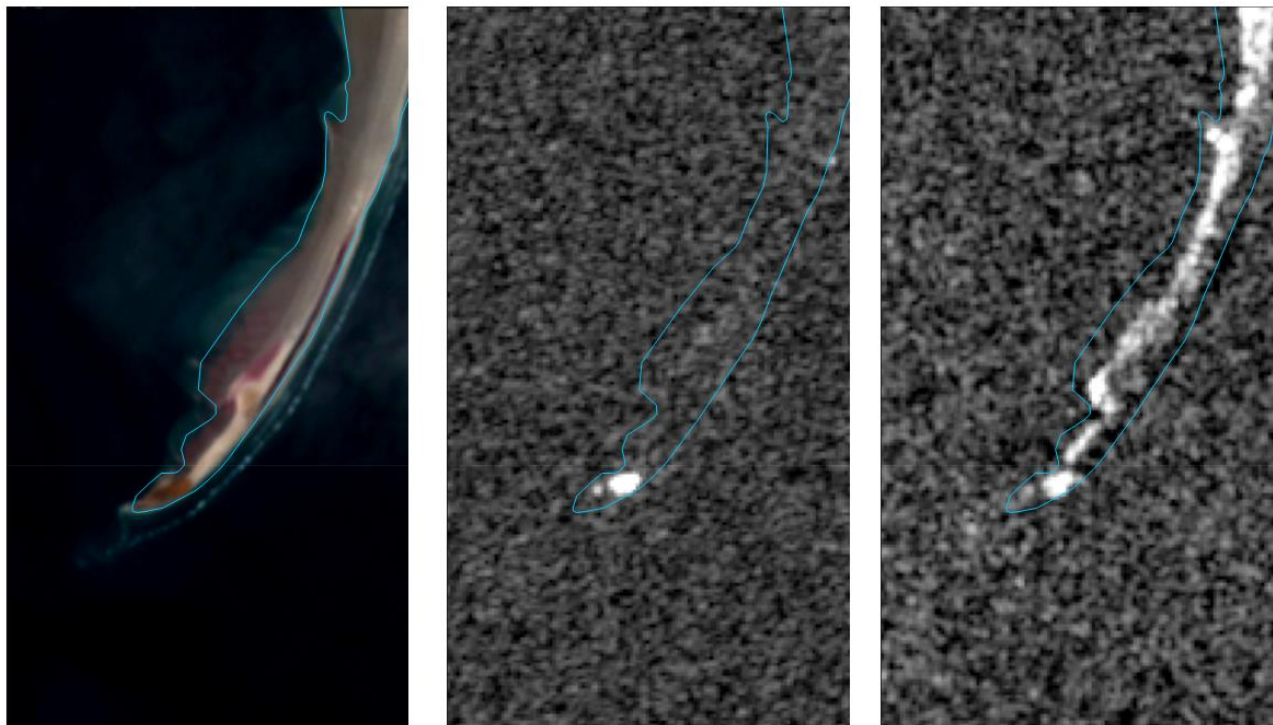
| | |
|-----------------|-----------|
| #Pixels total: | 594 |
| Minimum: | 7.14E-4 |
| Maximum: | 0.0051 |
| Mean: | 0.0020 |
| Sigma: | 6.8385E-4 |
| Median: | 0.0020 |
| Coef Variation: | 0.3354 |
| ENL: | 8.8920 |
| P75 threshold: | 0.0025 |
| P80 threshold: | 0.0026 |
| P85 threshold: | 0.0027 |
| P90 threshold: | 0.0029 |
| Max error: | 4.3546E-6 |



| | |
|-----------------|-----------|
| #Pixels total: | 167 |
| Minimum: | 0.0131 |
| Maximum: | 0.6957 |
| Mean: | 0.1613 |
| Sigma: | 0.1568 |
| Median: | 0.0914 |
| Coef Variation: | 1.6956 |
| ENL: | 0.3478 |
| P75 threshold: | 0.2527 |
| P80 threshold: | 0.2813 |
| P85 threshold: | 0.3284 |
| P90 threshold: | 0.4295 |
| Max error: | 6.8266E-4 |



Результаты исследований



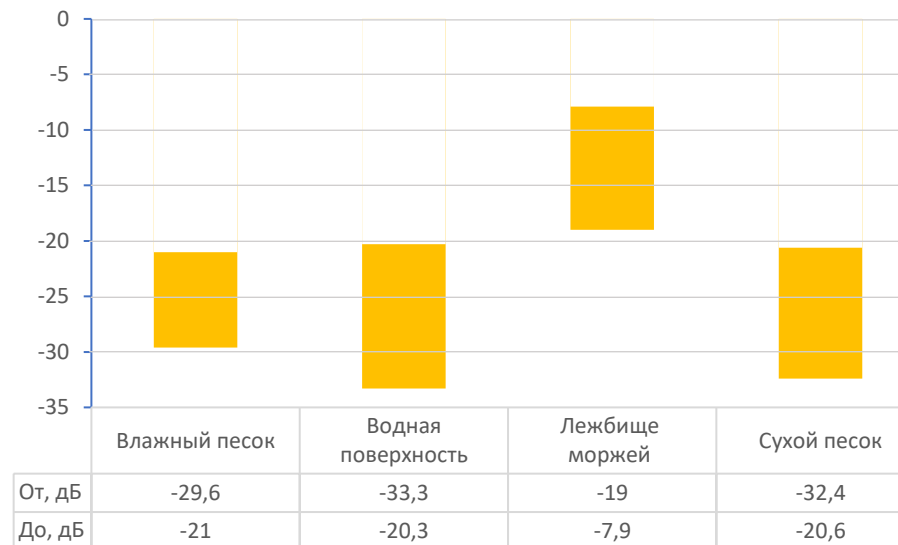
Фрагменты квазисовременных спутниковых изображений района лежбища моржей на острове Песчаный.

Слева – оптическое мультиспектральное изображение Sentinel-2, каналы R:8 G:4 B:3, время съёмки 05:07 UTC 10.09.2020;

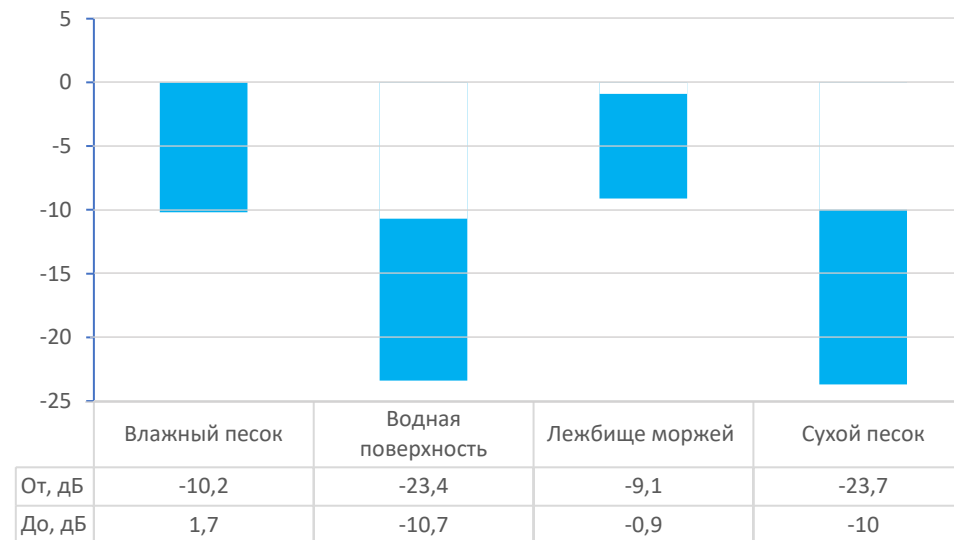
в центре – РЛИ Sentinel-1, поляризация ВГ, время съёмки 09:09 UTC 10.09.2020;

справа – РЛИ Sentinel-1, поляризация ВВ, время съёмки 09:09 UTC 10.09.2020. (Радиолокационные и оптические снимки Sentinel-1 и -2 содержат модифицированные данные Copernicus Sentinel, обработанные авторами, 2023).

Диапазон значений УЭПР на поляризации ВГ



Диапазон значений УЭПР на поляризации ВВ

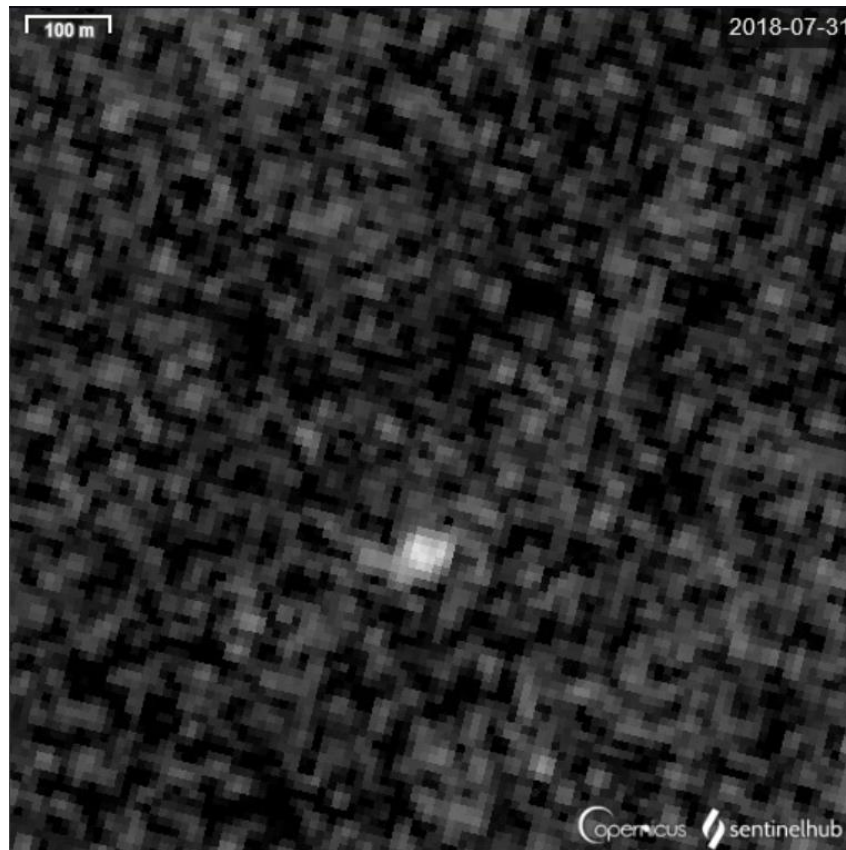


Небольшая залежка моржей, снимки на одну дату 31.07.2018, оптический снимок частично облачный

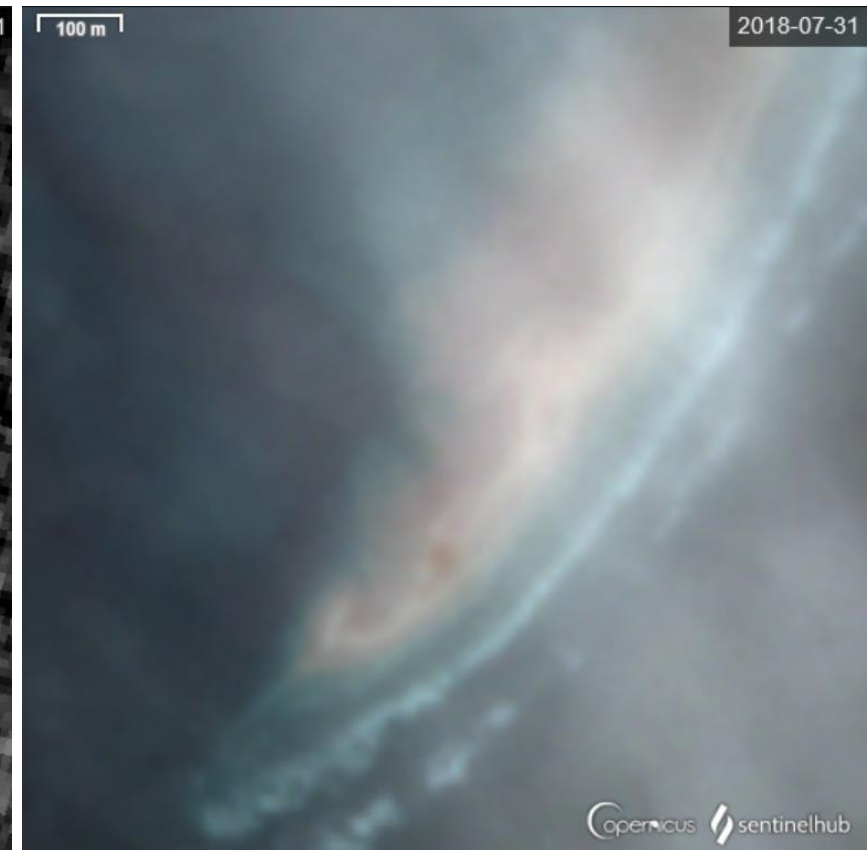
Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

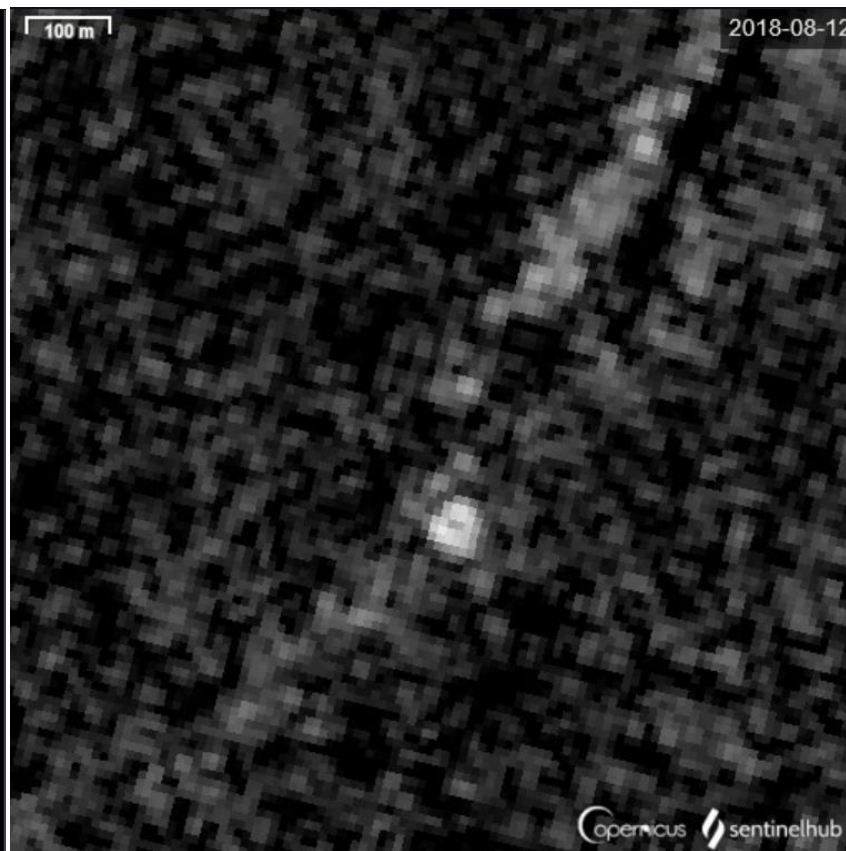


Крупная залежка моржей, снимки на одну дату 12.08.2018, зона отлива вдоль побережья косы

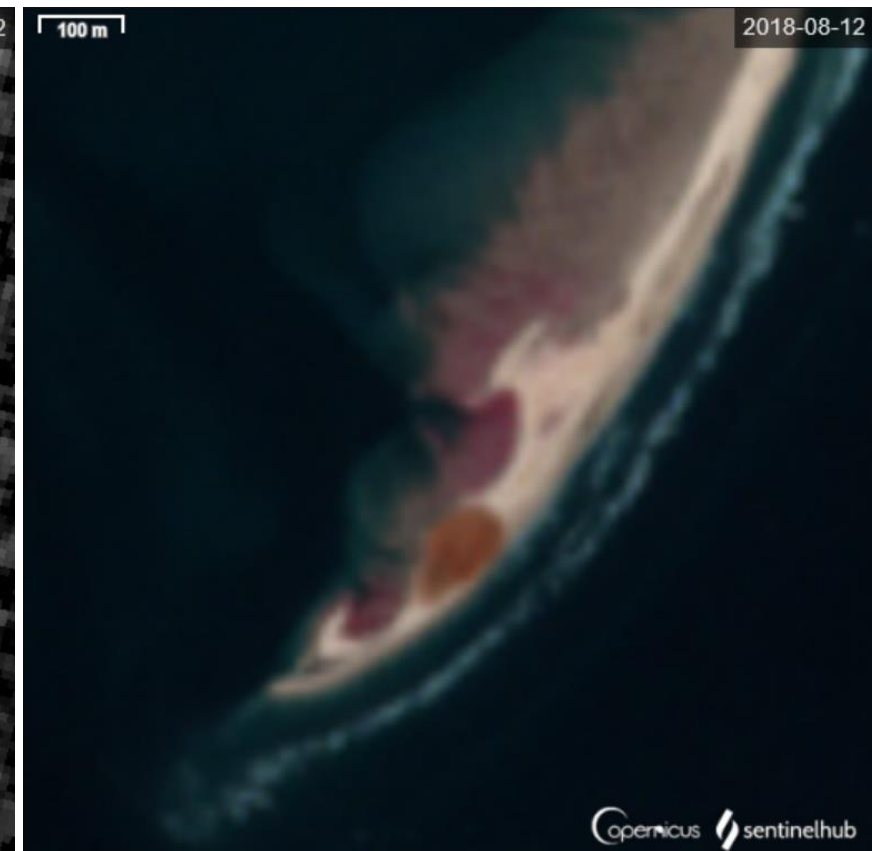
Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

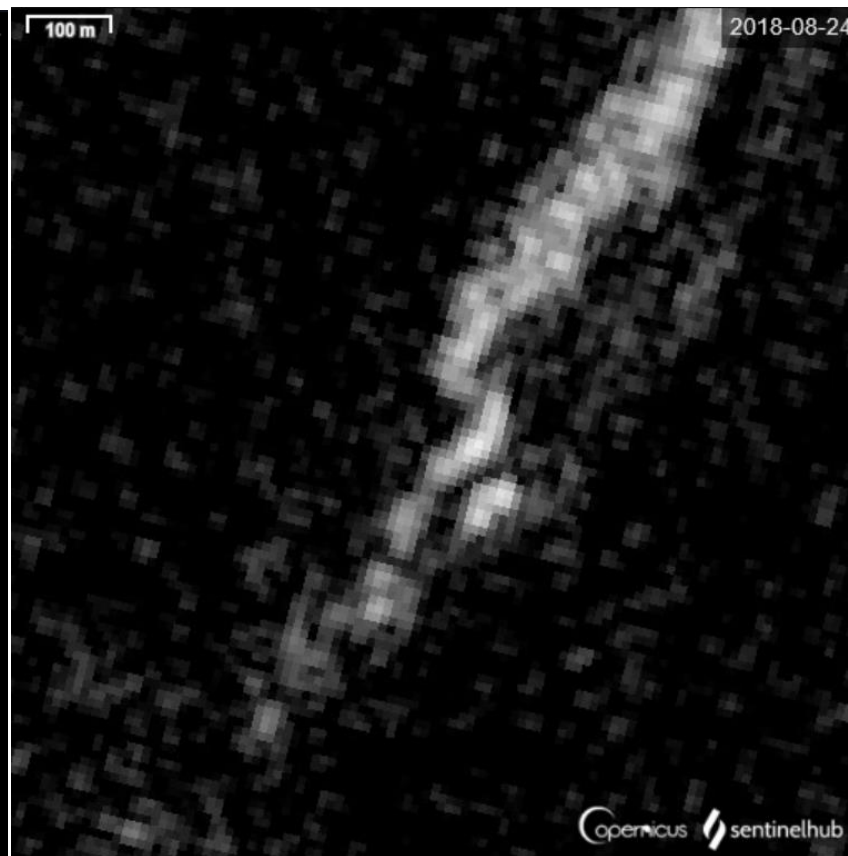


Залезка моржей, снимки на разные ближайшие даты 22 и 24.08.2018

Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

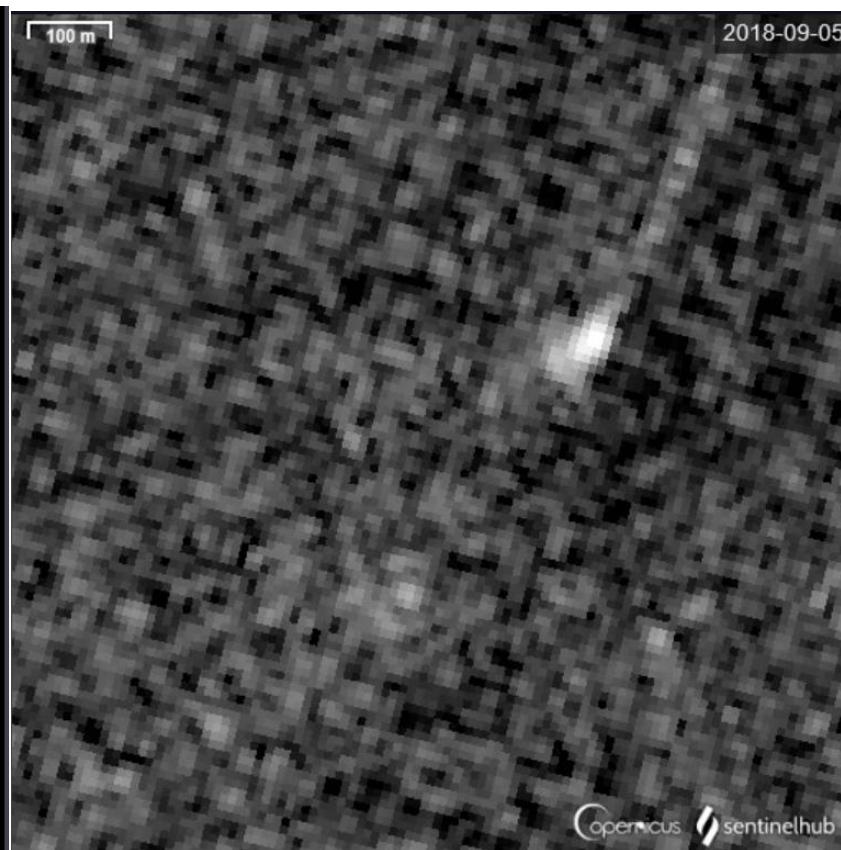


Залезка моржей в необычном месте косы, снимки на соседние даты 5 и 6.09.2018, оптический снимок частично облачный

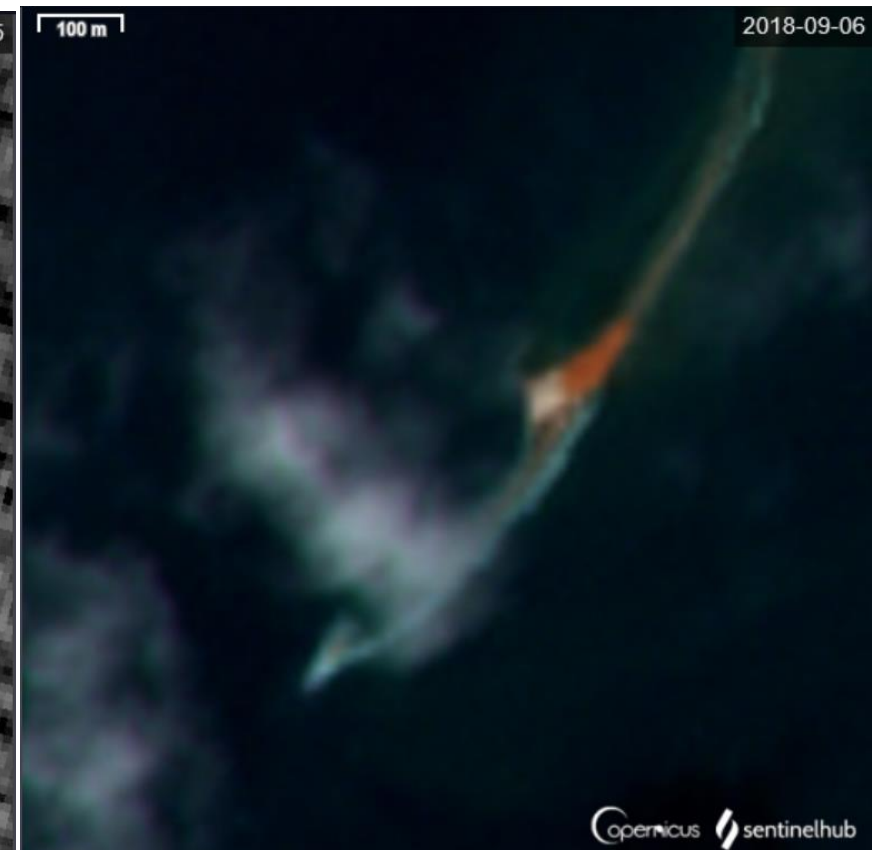
Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

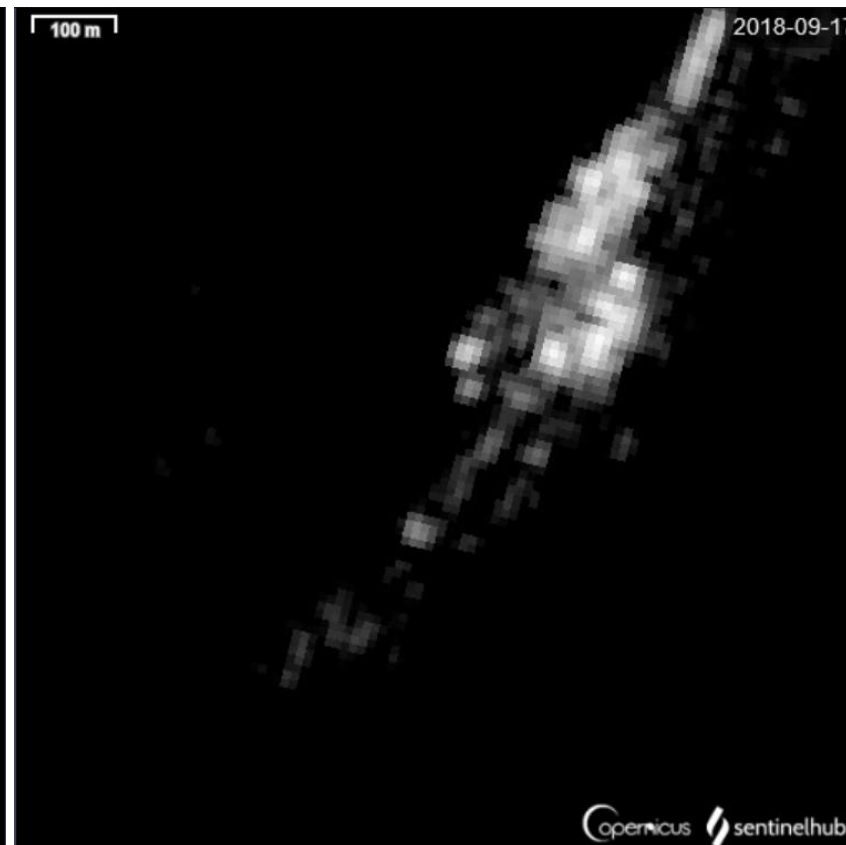


Залезка моржей в необычном месте косы, снимки на одну дату 17.09.2018, оптический снимок частично облачный

Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

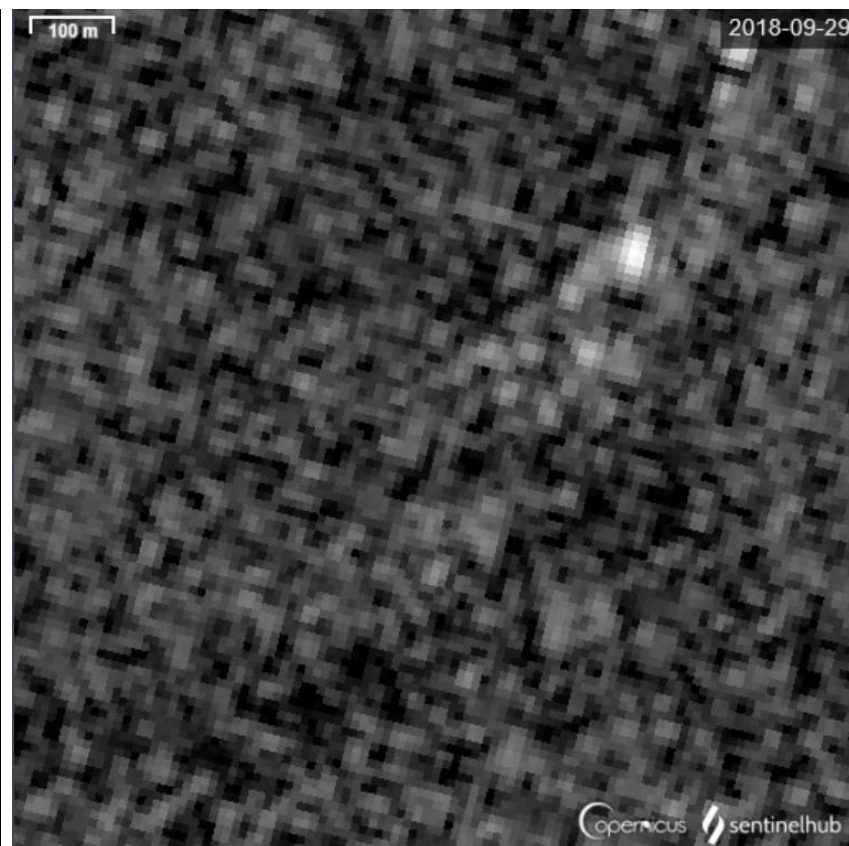


Небольшая залежка моржей, снимки на разные ближайшие даты 27 и 29.09.2018, оптический снимок частично облачный

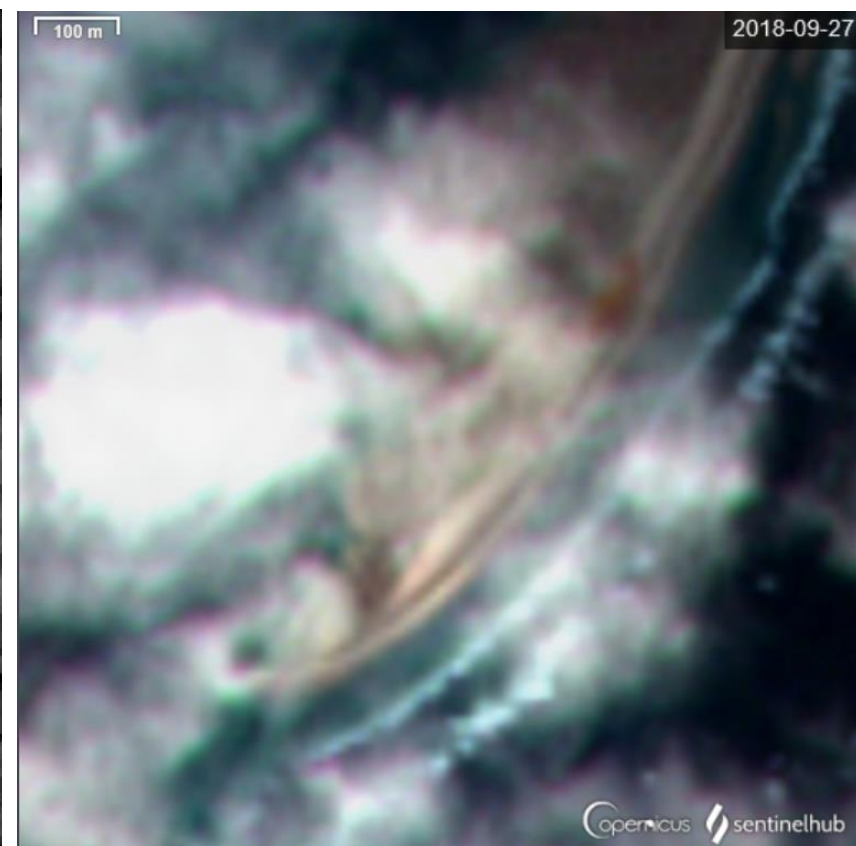
Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

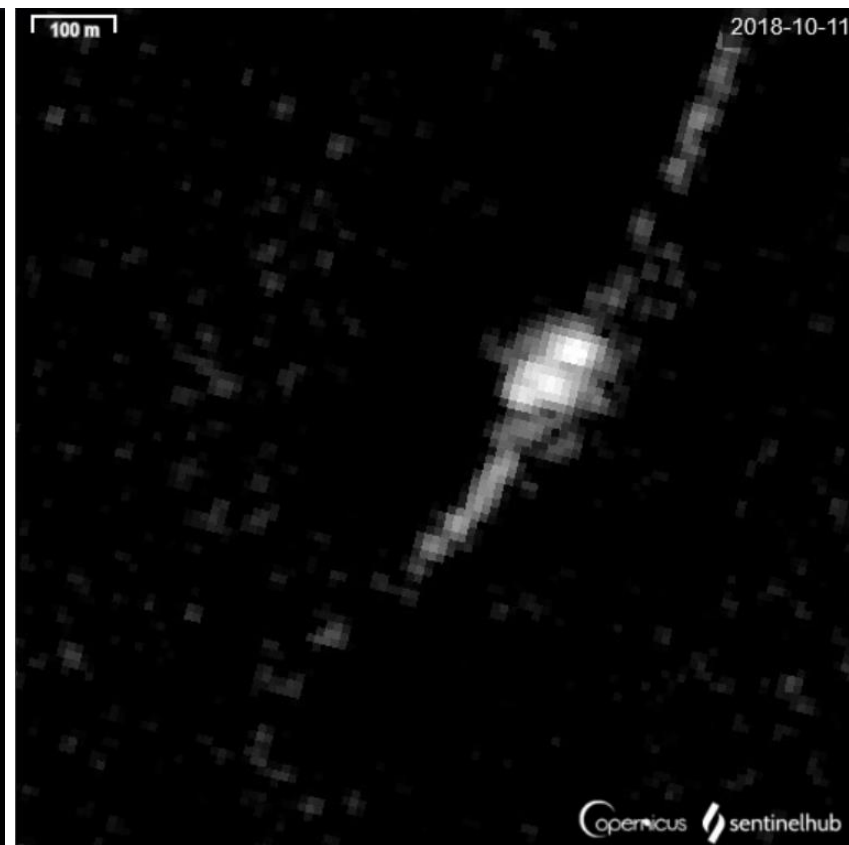


Крупная залежка моржей, снимки на соседние даты 11 и 12.10.2018, оптический снимок частично облачный, снежный покров на косе

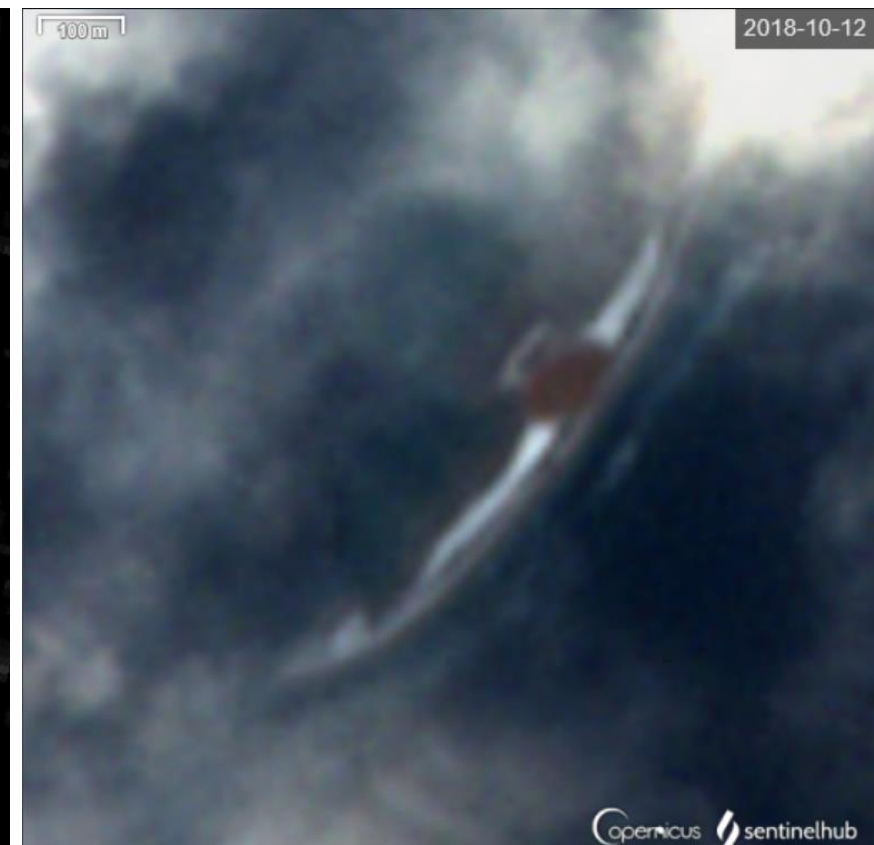
Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0



Синтез R:8 G:4 B:3

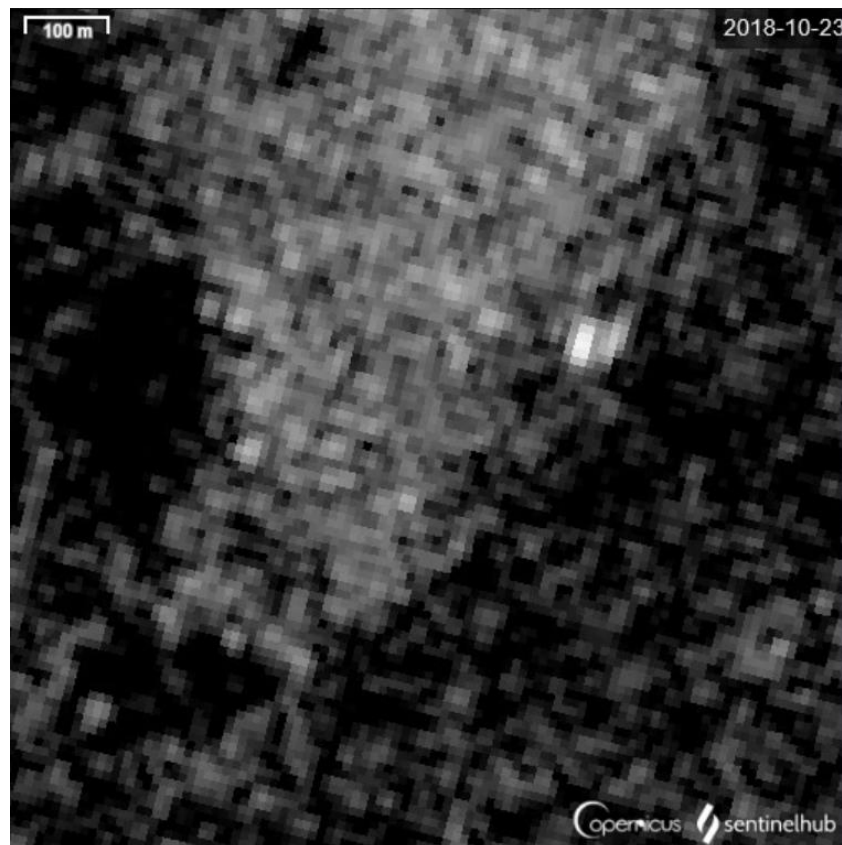


Небольшая залежка моржей на РЛИ, оптическая съёмка прекращена из-за недостаточной освещенности, РЛИ на 23.10.2023

Поляризация ВГ, dB gamma0

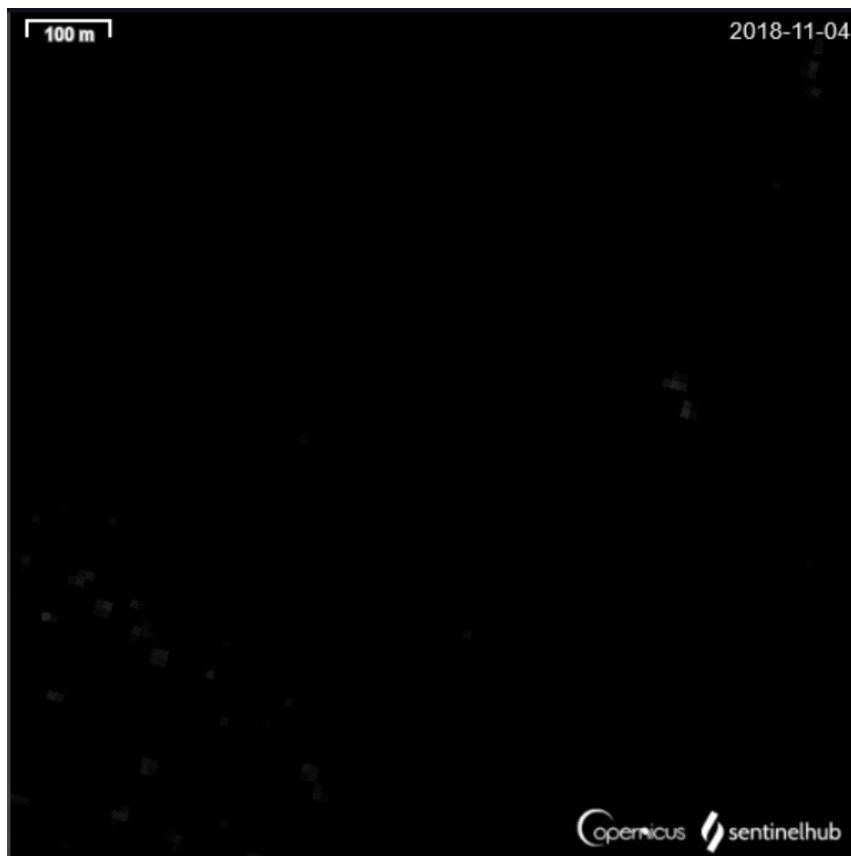


Поляризация ВВ, dB gamma0

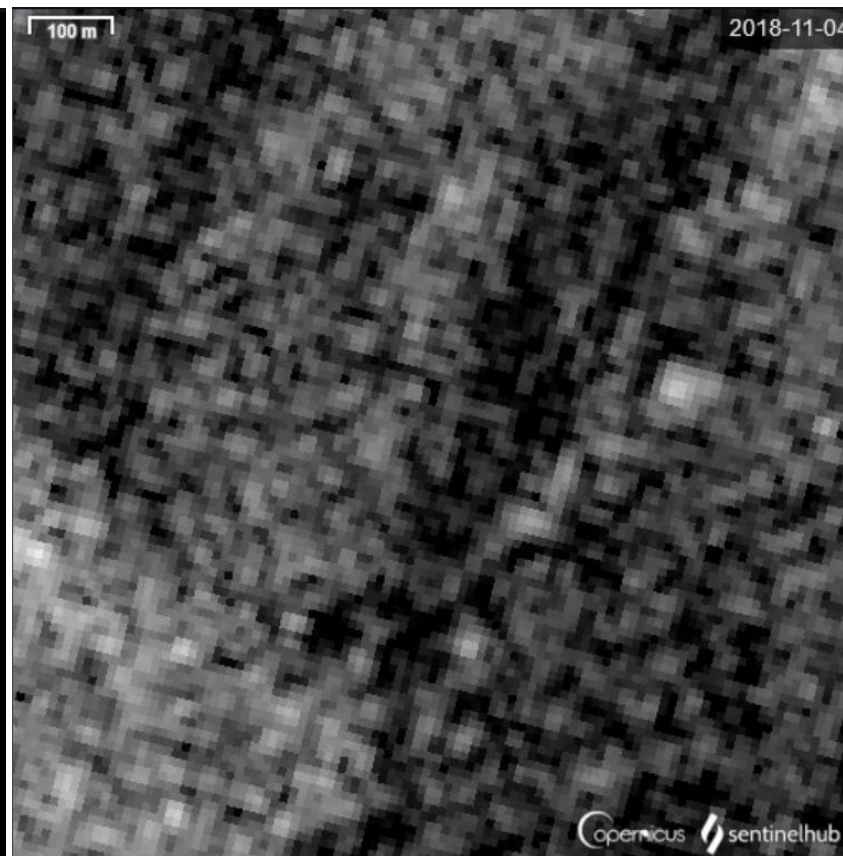


Залежка моржей отсутствует на РЛИ на 4.11.2023 (оценка) , оптическая съёмка прекращена из-за недостаточной освещенности

Поляризация ВГ, dB gamma0



Поляризация ВВ, dB gamma0





Вывод

Как показали проведенные исследования, на РЛИ спутников Sentinel-1 среднего разрешения (10 м и 40 м, режимы IW и EW) наблюдаются крупные лежбища моржа на выбранных тестовых районах с песчаным берегом. Для надежного обнаружения лежбищ моржа на песчаных побережьях предпочтительно использовать РЛИ, полученные на кросс-поляризации, съемку на согласованной поляризации можно использовать как вспомогательную для анализа состояния окружающей местности.

Комбинация использования оптических снимков и РЛИ позволит увеличить период наблюдения за популяцией и получить дополнительную информацию о местах обитания краснокнижных моржей в Арктике.



Планы работ

Протестировать возможности обнаружения лежбищ моржа с помощью РЛИ «Кондор-ФКА», используя детальные оптические снимки КА «Канопус-В» и «Аист-2Д» в качестве опорных.

Список литературы

1. Кучейко АА, Мизин ИА, Лескова МА, Глазов ДМ Исследование характеристик крупных лежбищ атлантических моржей по спутниковым снимкам среднего разрешения на примере Больших Оранских островов в 2013–2020 гг. XIII Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН 16–20 ноября 2020 г. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a. URL: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=174&thesis=8486>
2. Кучейко АА, Мороз О.Ю, Иванова С.Н, Глазов ДМ, Аянитова В, Куприянова В Изучение крупных лежбищ моржей в море Лаптевых с помощью спутниковых снимков среднего разрешения и ГИС-технологий. Материалы II Международной научной конференции ГИС для цифрового развития. Применение ГИС и ДЗЗ в науке и управлении. СВФУ, г. Якутск, 2–3 декабря 2021 г.
3. Researchers turn to SAR satellite imagery to monitor Pacific walruses as ice melt increases in the Arctic // www.capellaspace.com американская аэрокосмическая компания Capella Space. URL: <https://www.capellaspace.com/researchers-turn-to-synthetic-aperture-radar-sar-satellite-imagery-to-monitor-pacific-walruses-as-ice-melt-increases-in-the-arctic/>
4. Fischbach AS, Douglas DC. Evaluation of Satellite Imagery for Monitoring Pacific Walruses at a Large Coastal Haulout. *Remote Sensing*. 2021; 13(21):4266. <https://doi.org/10.3390/rs13214266>