



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морские информационные системы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему Обоснование способа определения положения кромки льда в
арктических морях в навигационных целях

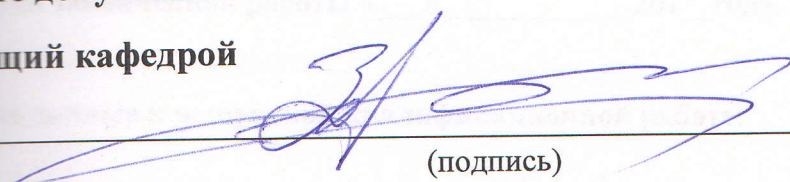
Исполнитель Мазурова Виктория Константиновна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сычев Виталий Иванович
(фамилия, имя, отчество)

«Защита допускаю»

Заведующий кафедрой


(подпись)

доц. тех. наук, зам
(ученая степень, ученое звание)

Забудский Владимир Вик.
(фамилия, имя, отчество)

2018 г.

Санкт-Петербург

2018



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морские информационные системы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему Обоснование способа определения положения кромки льда в
арктических морях в навигационных целях

Исполнитель Мазурова Виктория Константиновна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Сычев Виталий Иванович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«___» _____ 2018 г.

Санкт–Петербург

2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ.....	6
1.1 Sentinel-2 и Landsat 8, их достоинства и недостатки для реализации поставленной задачи.	6
1.2 Сравнительная характеристика получаемых данных с приборов.	14
1.3 Визуальные методы дешифрования видов льда на спутниковых изображениях.....	16
Выводы.....	19
Глава 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	21
2.1 Процесс получение спутниковой информации о положении кромки льда.	21
2.2 Аргументирование информации и ее адаптация для целей работы.	25
Выводы.....	28
Глава 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ И ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КРОМКИ ЛЬДА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ И НАВИГАЦИОННЫХ ЦЕЛЯХ	29
3.1 Физико-географические особенности Карского моря и о. Диксон.	29
3.2 Общие сведения о гидрометеорологических сведениях Карского моря и о. Диксон.	31
Выводы.....	34
Глава 4. ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ КРОМКИ ЛЬДА ПО ДАНЫМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ.....	35
Выводы.....	58
Заключение.....	60
Список использованных источников	63

ВВЕДЕНИЕ

Потребность в материалах космической съемки стала причиной появления целой плеяды съемочных аппаратов со сверхвысоким пространственным разрешением. Точность географической привязки и детальность получаемых изображений не один год позволяют формировать на их основе карты и планы крупного масштаба, что ранее было возможно только благодаря аэросъемки. Высокий спрос продуктов космической съемки привел к тому, что рынок все активнее осваивается компаниями с частным капиталом. Это характерно не только для запада, где поддержка частного бизнеса и передача ему ряда функций по получению данных в интересах государственных органов стала государственной политикой, но и завоевала весь мир. Глобальные наблюдения за процессами, происходящими на поверхности Земли, в её атмосфере и гидросфере, а также накопление информации, полученной с помощью спутниковых систем, ведутся с 70х годов прошлого столетия. Суровые климатические условия арктических морей, а также регулярное и непредсказуемое движение льдов под воздействием течений и ветра приводят практически к полному отсутствию возможности регулярно транспортировать исследующий персонал, необходимые ресурсы и оборудование. Плюс ко всему это огромные экономические затраты. Кроме того, Быстрые и частые климатические изменения, и отсутствие достаточной информации о положении и толщине льдов – препятствует закреплению новых полярных станций на дрейфующих льдах, что часто приводит к утрате дорогостоящего оборудования.

Появление спутниковых технологий и их интенсивное развитие позволяют ежедневно производить множество наблюдений за каждым уголком Земли. Наибольшую значимость имеют наблюдения за мировым океаном, ледяным и снежным покровами Арктики и Антарктики, поскольку измерения в этих местах либо отсутствуют, либо недостаточно актуальны. Вследствие глобальных климатических изменений возрастает потребность в метеорологических, геофизических, геомагнитных, гидрологических

измерениях, для своевременного прогнозирования стихийных бедствий. Прилегающая к Арктике территория является местом базирования Северного флота ВМФ России. Поэтому оперативный мониторинг положения кромки льда с помощью систем дистанционного зондирования Земли позволяет расширить так же оборонительные возможности нашей страны. [1]

Коммерческая и научно-исследовательская навигация в холодных водах арктических морей всегда была сложным занятием. Непредсказуемые погодные условия и угрозы столкновения с айсбергами и плавучими льдами, а также нехватка актуальных подробных карт ледовой обстановки в удаленных регионах по сегодняшний день делают навигацию сложной и опасной. Несмотря на то, что прямое наблюдение потенциальных угроз экипажем судна и подробное планирование маршрута судна являются стандартными методами обеспечения безопасного прохода, они никогда не давали подробных данных по ледовой обстановке.

По оценкам метеорологических характеристик за последние годы было выявлено уменьшение площади льдов в арктических морях. Изучив статистику, было определено, что каждые 10 лет на Северном полюсе количество льда уменьшается примерно на 13%. Поэтому вопрос об увеличении навигационного периода в Арктических морях был изучен с помощью полученных данных со спутников. Знание подробной ледовой обстановки вокруг судна, плывущего в арктическом море — это не только вопрос безопасности, но и экономия.

Для подробного рассмотрения всевозможных исходов увеличения навигационного периода в интересующем нас районе, были собраны данные и проведен анализ.

Объектом исследования стали способы определения положения кромки льда в арктических морях под воздействием течений и ветра различных направлений с помощью спутниковых систем Sentinel-2 и Landsat-8.

Предметом изучения данной ВКР является обеспечение навигации в арктических морях.

Целью выпускной квалификационной работы является рассмотрение основных характеристик спутников Landsat 8 и Sentinel 2, повышение точности навигации с помощью этих спутниковых систем и дополнение данных ледовых карт более детальными исследованиями.

Достижение указанной цели достигнуто посредством решения следующих задач:

1. Исследование и сравнение спутников Sentinel 2 и Landsat 8.
2. Описание наиболее подходящих для исследования приборов, установленных на спутниковых системах.
3. Выделение наиболее значимых метеорологических параметров и характеристик арктического региона.
4. Анализ полученных данных

Глава 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЦЕЛИ РАБОТЫ

1.1 Sentinel-2 и Landsat 8, их достоинства и недостатки для реализации поставленной задачи.

В современном мире мониторинг окружающей среды имеет важнейшее значение для обеспечения безопасного и комфортного существования. Он помогает зрительно оценить изменение планеты и ее климата, и понять какую роль в этих изменениях играют антропогенные и техногенные факторы.

В 1998 г. для обеспечения мониторинга окружающей среды руководящими органами Европейского Союза было принято решение о запуске программы GMES (Global Monitoring for Environment and Security), которая должна существовать под руководством Евро-комиссии в тандеме с Европейским космическим агентством (European Space Agency, ESA) и Европейским агентством по окружающей среде (European Environment Agency, EEA). На сегодняшний день они имеют статус крупнейших компаний наблюдения Земли. GMES обеспечивает государственные органы и других пользователей доступной и высокоточной информацией для мониторинга изменений окружающей среды.

На сегодняшний день, GMES состоит комплекса систем наблюдения: спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наземных станций, морских судов, атмосферных зондов т. д. [2]

КОСМИЧЕСКИЙ КОМПОНЕТ GMES.

Агентство по окружающей среде (EEA) работает с данными, полученными с суши, моря и в атмосфере. Эти данные поступают с организаций в каждой точки земли. При этом GMES сводит получаемую с космических аппаратов информацию с данными, обеспечивая целый ряд информационных сервисов, занимающиеся решением таких задач, как улучшение окружающей среды, условий жизни, гуманитарных проблем, а

также для поддержки принятия политических решений в интересах более устойчивого развития общества.

На сегодняшний день GMES опирается на два типа систем ДЗЗ: спутники Sentinel, специально предназначенные для программы GMES, и национальные спутниковые системы ДЗЗ. В космический компонент GMES входит единый наземный сегмент, посредством которого будет обеспечиваться свободный доступ к сервисам GMES.

Название спутников Sentinel символично — на русском языке оно звучит «Страж», что отображает суть этой системы, специально предназначенной для обеспечения программы безопасного и комфортного проживания людей. Запуск спутников Sentinel стартовал в 2013 г. По сегодняшний день они ведут съемки с использованием различных технологий, например, с помощью радаров и оптико-электронных мультиспектральных сенсоров.

Для реализации программы GMES под руководством ESA ведется разработка пяти типов спутников ДЗЗ Sentinel, каждый из которых осуществляет определенную миссию, связанную с мониторингом Земли.

Каждая миссия Sentinel включает в себя группировку из двух спутников для обеспечения наилучшего охвата территории и ускорения повторных съемок, что служит повышению надежности и полноте данных для GMES. [3]

Sentinel-2.

Спутник Sentinel-2 (рисунок 1) регулярно поставляет космические снимки высокого разрешения на всю Землю, при этом обеспечивая непрерывность получения данных с аналогичными характеристиками как в программах SPOT и Landsat.

Sentinel-2 оснащен оптико-электронным мультиспектральным сенсором для съемок с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной

(VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра, включающих в себя 13 спектральных каналов, что гарантирует отображение различий в состоянии растительности, в том числе и временные изменения, а также сводит к минимуму влияние на качество съемки атмосферы.

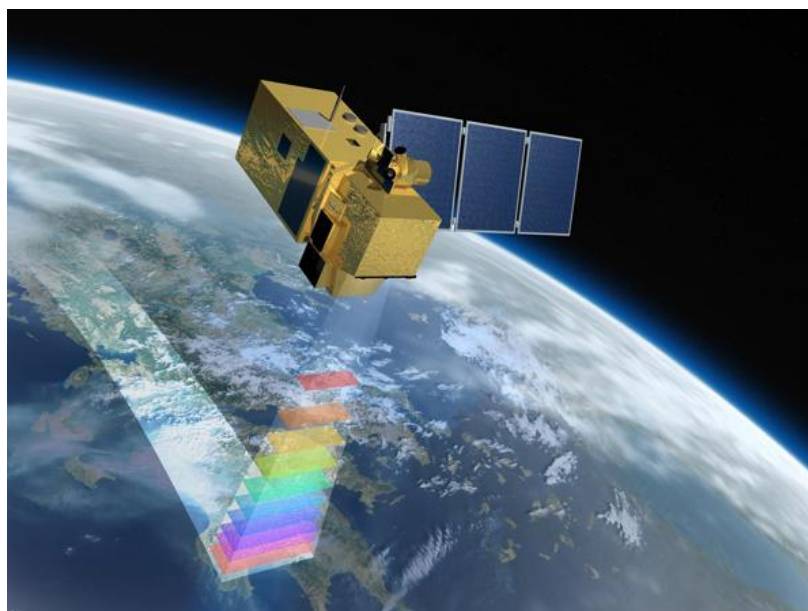


Рисунок 1 – Спутник Sentinel-2

С помощью двух спутников на орбите высотой 785 км, повторные съёмки проводятся каждые 5 дней на экваторе и каждые 3 дня в средних широтах.

Высокая повторяемость съемок позволяет отслеживать быстро изменяющиеся процессы, например, изменение характера передвижения льдов.

Уникальность миссии Sentinel-2 связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съемок, и, как следствие, получением полного покрытия всей Земли мультиспектральной съемкой высокого разрешения. [4]

(В таблице 1. приведены основные характеристики спутников Sentinel-2.)

Режим съемки	VNIR										SWIR		
Спектр. каналы	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	9	10	11	12
Спектральный диапазон, мкм	0,44	0,49	0,56	0,66	0,70	0,74	0,78	0,84	0,86	0,94	1,38	1,61	2,19
Пространств. Разреш., м	60	10	10	10	20	20	20	10	20	60	60	20	20
Ширина полосы съемки, км	290												
Период. съемки, сутки	От 5 (на экваторе) до 2–3 (в средних широтах)												

(Таблица 1– Основные характеристики Sentinel 2)

Landsat-8

«Программа Landsat была создана в Соединенных Штатах в трудные времена для науки и исследований, связанные с выходом на Луну», - объясняет Джон Баркер, один из главных конструкторов Landsat. Но именно миссии, связанные с Луной и отправкой «Аполлона», вдохновили программу Landsat. Во время первых миссий испытательного стенда для «Аполлона», фотоснимки земной поверхности земли от космоса были сделаны в первый раз.



Рисунок 2 – Ракета ТОР-дельта подготовлена к запуску Landsat 1, 1972 год.

Хотя метеорологические спутники наблюдали за атмосферой Земли с 1960 года и в значительной степени считались полезными, до середины 60-х годов данных о местности в космосе не было.

Таким образом, когда был предложен Landsat-1, он столкнулся с критикой со стороны бюджетного бюро, и те, кто утверждал, что высотные самолеты будут финансово ответственным выбором для дистанционного зондирования Земли.

Landsat 8 (Рисунок 3) стартовал 11 февраля 2013 года с базы ВВС, штат Калифорния, на ракете "Атлас-v 401", с расширенным обтекателем полезной нагрузки (EPF) от United Launch Alliance, LLC. Полезная нагрузка спутника Landsat-8 состоит из двух научных приборов - оперативного сухопутного Тепловизора (OLI) и теплового инфракрасного датчика (TIRS). Эти два датчика обеспечивают сезонное покрытие глобального рельефа при пространственном разрешении 30 метров (видимый, NIR, SWIR); 100 метров (тепловой); и 15 метров (панхроматический). Набор инструментов OLI является основным на спутнике.



Рисунок 3 – Спутник Landsat 8

Тепловизор OLI.

Инструменты Landsat-8 — это прогресс в технологии. OLI (Operational Land Imager) (рисунок 4) улучшает прошлые датчики Landsat, используя технический подход, продемонстрированный датчиком, летающим на экспериментальном спутнике EO-1 NASA. OLI датчик с телескопом с 4-зеркалами и 12 битовым квантованием. OLI собирает данные для видимых, около инфракрасного, и коротковолновых ультракрасных спектральных диапазонов. Имеет пятилетний расчетный срок службы. [5]

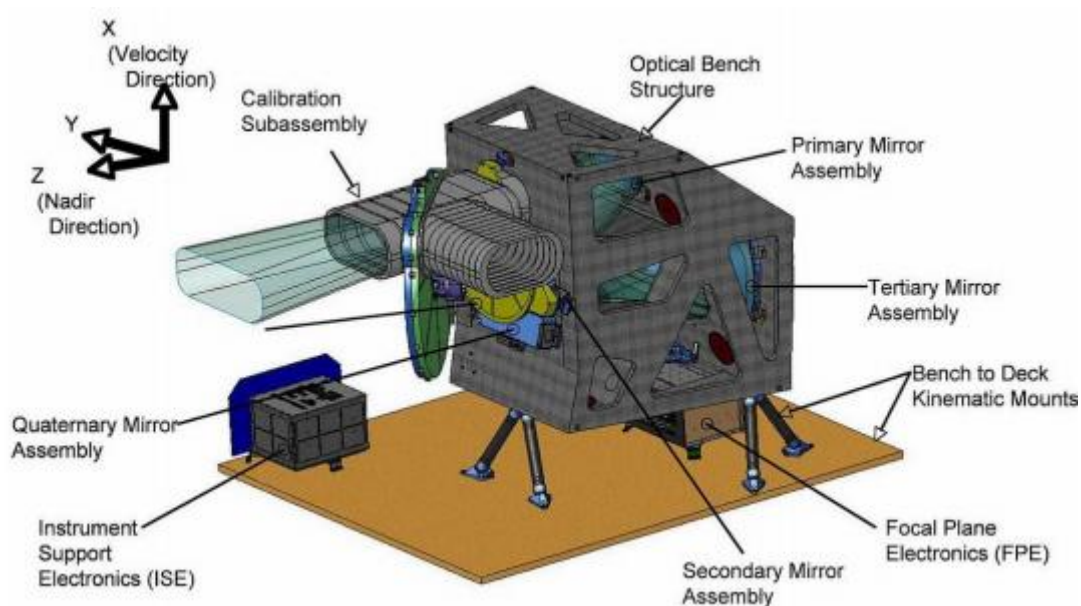


Рисунок 4 – Набор инструментов OLI

Тепловой инфракрасный датчик TIRS.

Фокальная сборка TIRS, состоящая из 3 модулей, охлаждается до $-230\text{ }^{\circ}\text{C}$ при помощи криогенератора.

Инфракрасный телескоп TIRS использует 4 линзы, изготовленные из германия и селенида цинка. Телескоп охлаждается до $-88\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет излучения тепла со специального радиатора.

Снимки с Landsat-8 — это постоянно обновляющиеся графическая информация. При обновлении фотографий каждые 16 дней данные фотосъемки можно использовать для проведения множества научных исследований в любой области, от сельского хозяйства, картографии, геологии, лесоводства до разведки, образования и национальной безопасности.

Диапазон 1 чувствителен к оттенкам темно-синего и фиолетового цветов. Синий цвет трудно различать из космоса, так как он маскируется на пыли, частичках воды в воздухе и на самих молекулах воздуха.

Диапазоны 2, 3 и 4 представляют собой видимые синий, зеленый и красный спектры.

Диапазон 5 измеряет ближний инфракрасный спектр. Эта часть спектра особенно важна для экологов, поскольку вода в листьях здоровых растений отражает ее. Сравнивая с изображениями других диапазонов, получают индексы вроде NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - нормализованный относительный индекс растительности - простой 21 количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы), которые позволяют точно измерять степень здоровья растений.

Диапазоны 6 и 7 покрывают разные участки коротковолнового ИК. Они позволяют определять засушливые и влажные земли и различать их. Так же этот диапазон определяет: скалы и почвы, которые выглядят похоже в других диапазонах, но отличаются в ИК.

Диапазон 8 – панхроматический. Он воспринимает больше света и дает самую четкую картинку среди всех диапазонов. Его разрешение составляет 15 метров.

Диапазон 9 – самая интересная особенность Landsat 8. Он покрывает очень узкую полосу длин волн – 1370 ± 10 нанометров. Только единицы из космических инструментов регистрируют эту область спектра, поскольку она почти полностью поглощается атмосферой. Из-за того, что земля в этом диапазоне едва различима, все, что в нём ярко видно, либо отражает очень хорошо, либо находится вне атмосферы. В Диапазоне 9 видны только облака, которые представляют проблему для спутниковых снимков, так как из-за размытых краев плохо различимы в обычных диапазонах, а снимки, сделанные сквозь них, могут иметь расхождения с другими. С помощью Диапазона 9 это легко отследить.

Диапазоны 10 и 11 – это тепловое ИК. Вместо измерения температуры воздуха, как это делают погодные станции, они измеряют температуру поверхности. [6]

Спектральный канал	Длины волн	Разрешение
Диапазоны OLI		
Канал 1 – Побережья и аэрозоли	0.433 - 0.453 мкм	30 м
Канал 2 - Синий	0.450 - 0.515 мкм	30 м
Канал 3 - Зеленый	0.525 - 0.600 мкм	30 м
Канал 4 - Красный	0.630 - 0.680 мкм	30 м
Канал 5 - Ближний ИК	0.845 - 0.885 мкм	30 м
Канал 6 - Ближний ИК	1.560 - 1.660 мкм	30 м
Канал 7 - Ближний ИК	2.100 - 2.300 мкм	30 м
Канал 8 - Панхроматический	0.500 - 0.680 мкм	15 м
Канал 9 - Перистые облака	1.360 - 1.390 мкм	30 м
Диапазоны TIRS		
Канал 10 - Дальний ИК	10.30 - 11.30 мкм	100 м
Канал 11 - Дальний ИК	11.50 - 12.50 мкм	100 м

Таблица 2 – Характеристика спектральных диапазонов Landsat 8

1.2 Сравнительная характеристика получаемых данных с приборов.

Радиометрические характеристики: Sentinel-2 в данных спектральных диапазонах очень похож на спутник landsat-8 (кроме тепловых каналов снимков landsat-8 по тепловому инфракрасному датчику). Конкретное размещение полос Sentinel-2 по сравнению с 7 и 8 полосами Landsat можно увидеть на рисунке ниже. Он сравнивает спектральные полосы OLI с диапазонами ETM + Landsat OLI предоставляет два новых спектральных диапазона, один из которых предназначен специально для обнаружения перистых облаков, а другой для наблюдений в прибрежной зоне. [7]

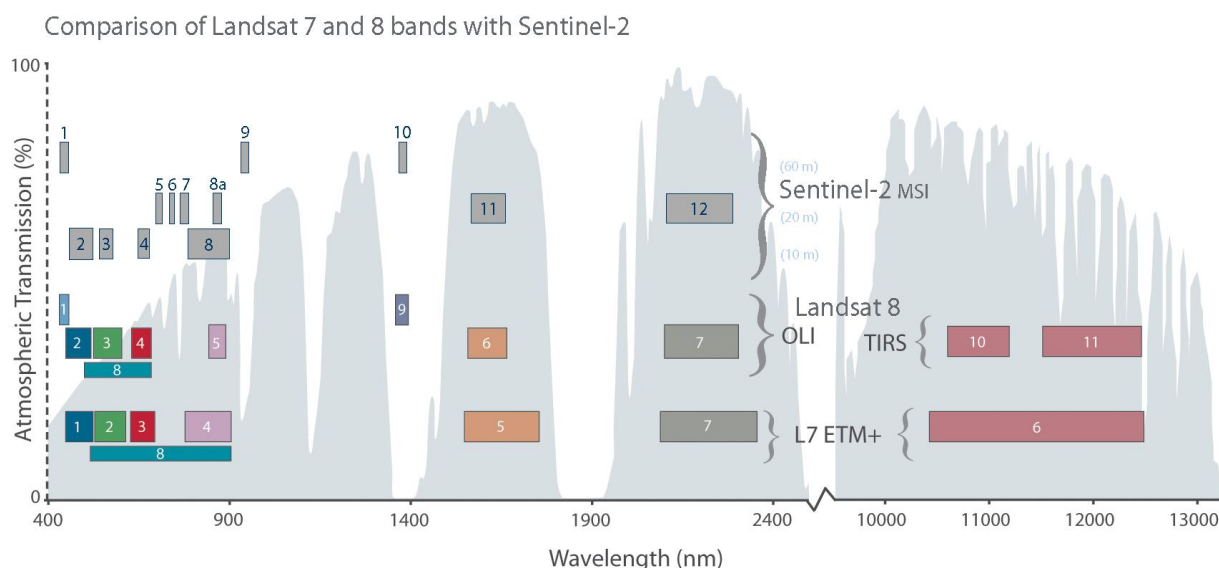


Рисунок 5 – Сравнительный график Sentinel 2, Landsat-7 и Landsat 8.

Atmospheric transmission - прозрачность атмосферы в процентах, Wavelength-
длина волны в нм

На рисунке ниже представлены два графика спектральных характеристик Sentinel-2 и Landsat 8. Графики позволят потребителям определить какие спутниковые диапазоны будут наиболее подходящими для исследования. Этот

инструмент также облегчает визуализацию относительной спектральной реакции (RSR) других спутниковых датчиков как Landsat-8.

Несмотря на то, что сравнительная свертка сейчас на стадии бета-версии, можно наглядно рассмотреть различия между вышеупомянутыми спутниками.

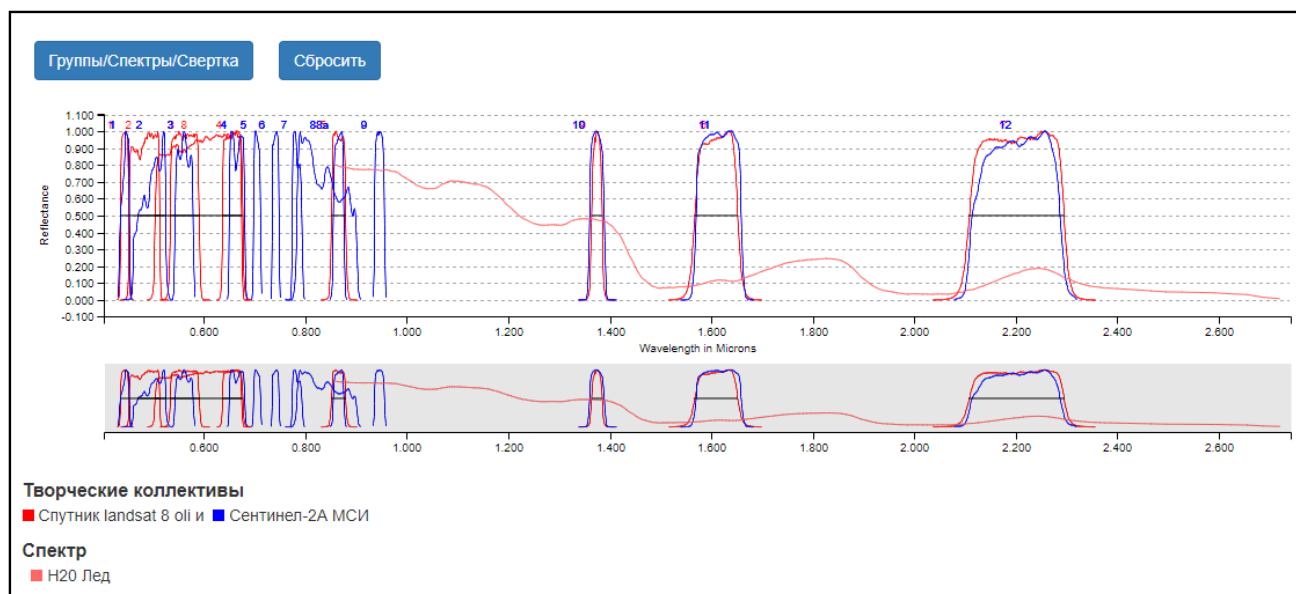


Рисунок 6 – Средство просмотра спектральных характеристик Landsat 8 и Sentinel-2.

На примере рассмотрения спектра «Лёд», видно, что Landsat-8 отображает отклики более подробно, явно указывая на неровности, тем временем Sentinel-2 показывает все чуть более приблизительно. [8]

Не беря в расчет незначительную разницу в показаниях спутников хочется отметить, что при разработке спутника landsat-8 и Sentinel-2, калибровка учеными из обоих проектов проводилась совместно. Многие исследователи с нетерпением ждут коллективного использования данных Landsat-8 и Sentinel-2.

1.3 Визуальные методы дешифрования видов льда на спутниковых изображениях.

В этой главе описаны главные принципы и методы дешифрования, разработанные в результате обработки информации по спутниковым изображениям и визуальным наблюдениям за ледяным покровом в Арктике и замерзающих морях со всевозможных средств передвижения (самолеты, вертолеты, борта судов). Одно из важных требований к системе мониторинга — регулярность сбора информации по ледяному покрову, составляющая от 1 до 10 суток. [9]

Основным источником оперативной информации о ледовой обстановке являются в настоящее время спутниковые данные, получаемые в различных спектральных диапазонах:

- Видимом
- Инфракрасном
- СВЧ (пассивных (СВЧ-радиометров) и активных (радиолокаторов))

В период с 60-ых годов по сегодняшний день в России накоплен приличный опыт дешифрования оптических, спутниковых и РЛ-изображений льдов. Начиная с 1968 г. На акваториях арктических морей стали выполняться регулярные ледовые наблюдения. С помощью радиолокационных станций бокового обзора (РЛС БО) (рисунок 7) установленных на самолетах АН-24, а позднее на Ил-18. [10]

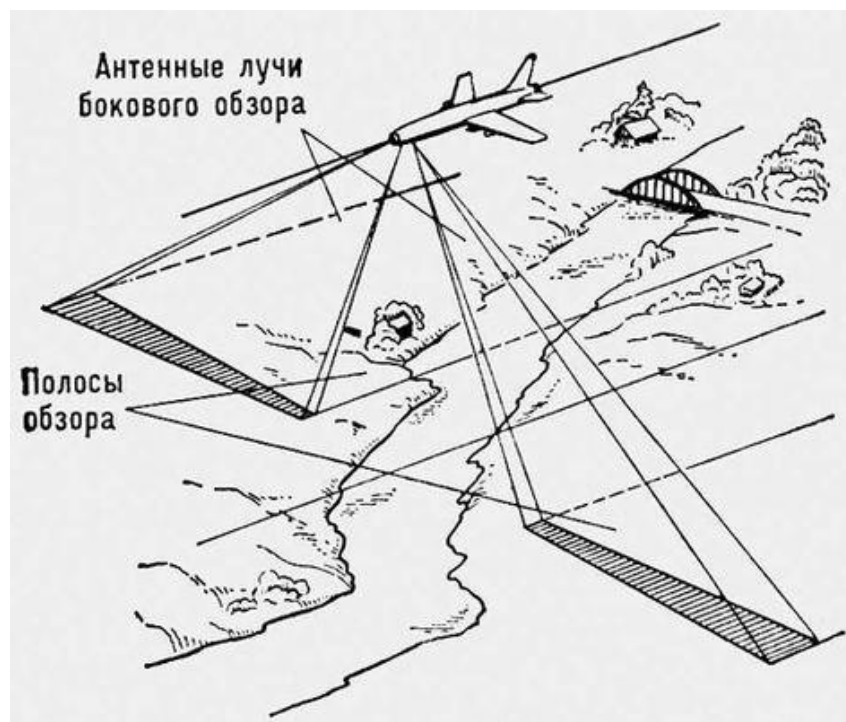


Рисунок 7 – Принцип работы РЛС БО на самолётах АН-24.

Основные принципы и признаки дешифрирования.

Дешифрование спутниковых снимков является процессом обнаружения, опознавания и интерпретацией изображенных объектов суши, ледяного покрова и др.

При дешифровании изображений со спутников используются 2 вида признаков:

- прямые
- косвенные

К прямым относят тональную структуру изображения объекта, форму и размер. К косвенным же относится местоположение и взаимная связь объектов, а так же следы деятельности объектов. [11]

Ниже представлены общие принципы дешифрования.

Тон (или яркость) спутниковых изображений определяется отражательной способностью и является наиболее важным дешифровочным признаком. На снимках видимого диапазона яркость льда различной толщины напрямую зависит от альбедо. Получается, что чем тоньше лёд, тем темнее тон его изображения, соответственно, чем толще лёд, тем светлее тон. Тон изображения зависит, как правило, не только от толщины льда, но и от целого ряда побочных факторов. Например от солёности льда, размеров льдин, степени шероховатости и торосистости поверхности, степени разрушенности и влажности. Часто именно из-за этого изображение однородных по толщине ледяных полей состоит из ярко выраженных пятен и полос, отличающихся по тону. В большинстве случаев причины неоднородности объяснить затруднительно.

Форма и размеры объекта спутниковых изображений также являются основными признаками. В соответствии с Номенклатурой морских льдов (1974) в России морской лёд подразделяется по размерам и формам следующим образом:

- Гигантские ледяные поля (горизонтальные размеры более 10км)
- Обширные ледяные поля (2-10км)
- Большие ледяные поля (500м-2км)
- Обломки полей (100-500м)
- Крупнобитый лёд(20-100м)
- Мелкобитый лёд (менее 20м)

Очевидно то, что при разрешающей способности снимков, равной 1 км, невозможно определить размеры полей менее 1 км. РЛ-изображения имеют разрешающую способность 3м-3км, поэтому при выполнении специальных работ для обеспечения мореплавания на отдельных участках приходится

прибегать к картированию ледяных образований с горизонтальными размерами 10-50м и более. [12]

Не стоит так же забывать, что кроме прямых и косвенны признаков используются так же *логические*. Хорошее знание ледового режима морей и последовательное картирование ледовой обстановки в течении всего года позволяет избежать грубых ошибок. [13]

Так, например, в Карском море наблюдаются льды речного происхождения. Выносимые из Енисейского залива и Обской губы. По характеру изображения на РЛ-снимках они очень похожи на многолетние льды, которых в осенне-зимний период в этих районах не бывает. [14]

Выводы

Были рассмотрены основные характеристики спутников Sentinel-2 и landsat-8, а также основные характеристики установленного на них оборудования: оптико-электронные мультиспектральные сенсоры для съемок (VNIR) и (SWIR), тепловизор OLI и датчик TIRS. Выделены преимущества и недостатки данных спутниковых систем для реализации поставленных целей.

Данные Landsat-8 с 720-730 сцен в сутки размером 190x180 км² и Sentinel-2 (150-200 сцен в сутки) размером 290x300 км², поставляют информацию о поверхности Земли в 24,8 млн км². Таким образом, Sentinel-2 превосходит Landsat-8 по точности съёмки, но данные Landsat-8 имеют более длинный ряд наблюдений, поэтому в данной работе использована информация обоих спутников.

Результаты обработки спутниковых изображений Landsat и сравнительная оценка с данными Sentinel показала, что информация о направлении движения льдов на снимках является достаточно точной, но фиксируются территории, не покрытые льдом. Таким образом, совмещение данных о характеристиках льда по снимкам Landsat и Sentinel позволяет

повысить точность получаемой информации и облегчить её обработку. Интегральные оценки изменения положения льдов в арктических морях в навигационный период свидетельствуют о возможностях получить точную и оперативную информацию о положении льдов, воспроизводить ключевые особенности навигационного периода в различных частях арктического региона с помощью спутниковой информации.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

2.1 Процесс получение спутниковой информации о положении кромки льда.

Площадь льдов, покрывающих акваторию моря или его районы независимо от их сплоченности является наиболее важным обобщенным показателем ледовых условий в арктических морях. Она определяется в пределах естественных районов арктических морей (рисунок 8). Площади ледяных массивов в арктических морях определяются каждые десять дней начиная с 1940 г. Именно тогда начались регулярные авиационные разведки. Для исследования изменений площади ледяного покрова вызванные климатическими колебаниями необходимы длительные наблюдения, позволяющие бы проанализировать изменения ледовитости морей в течение столетия или более, а не только в последний период потепления.

В августе за период 1924—1939 гг. В. Ю. Визе систематизировал и обобщил все имевшиеся данные, которые были получены этим известным полярным исследователем. Более того, они используются для оценки площади льда по сей день, чтобы восполнять картину в полной мере. Для их расчета В. Ю. Визе объединил все данные, полученные на тот период по наблюдениям судов и авиации за положением кромки льда в арктических морях. Используя данные, В. Ю. Визе установил связь колебаний суммарной площади льдов арктических морей. Полученные результаты В. Ю. Визе были подтверждены неоднократно. Многие данные удалось восстановить по литературным источникам, где упоминались арктические плавания в начале XX в. [15]

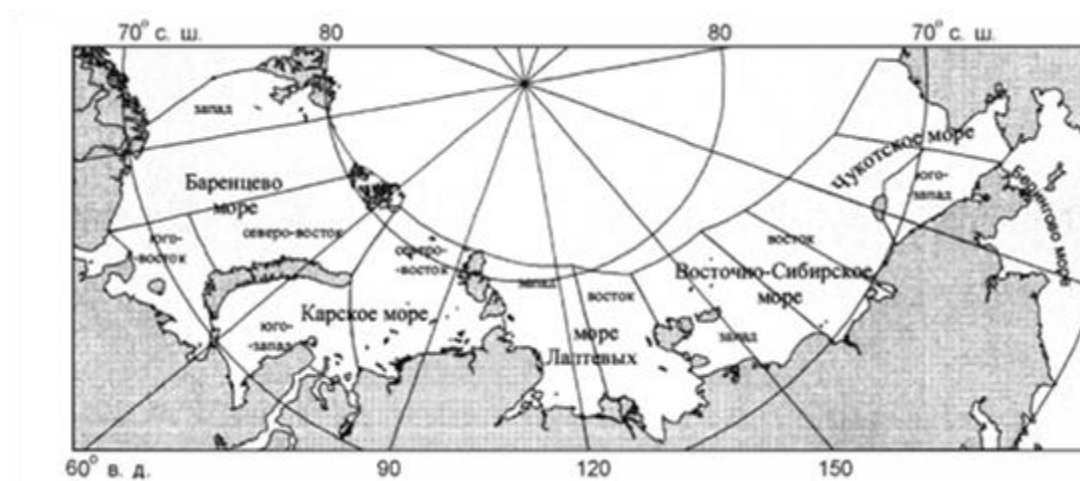


Рисунок 8 – Границы арктических морей и их районов.

Таким образом, учитывая все данные о наблюдениях был сформирован более чем 100-летний ряд информации для середины летнего периода. После 1960 г. дискретность ледовых карт уменьшилась до 3 раз в месяц зимой и до 10 суток летом. В 1970-х годах такие карты стали составляться и в СССР, а теперь и в России. Поэтому в морях приатлантической Арктики для оценки климатических изменений используют достаточно длинные ряды наблюдений за площадью ледяного покрова. [16]

Современное получение данных о положении кромки льда.

Данные со спутников NASA, распространяются свободно с помощью официального сайта. Чтобы получить снимки Landsat 8 и Sentinel 2 необходимо перейти на сайт <http://earthexplorer.usgs.gov/> создать и войти в свою учётную запись. Вышеупомянутый ресурс принадлежит геологической службе США USGS (United States Geological Survey), где хранятся архивные изображения, полученные со спутников. Далее на карте, выбирается нужная область Земли и устанавливается маркер, в моём случае о. Диксон.

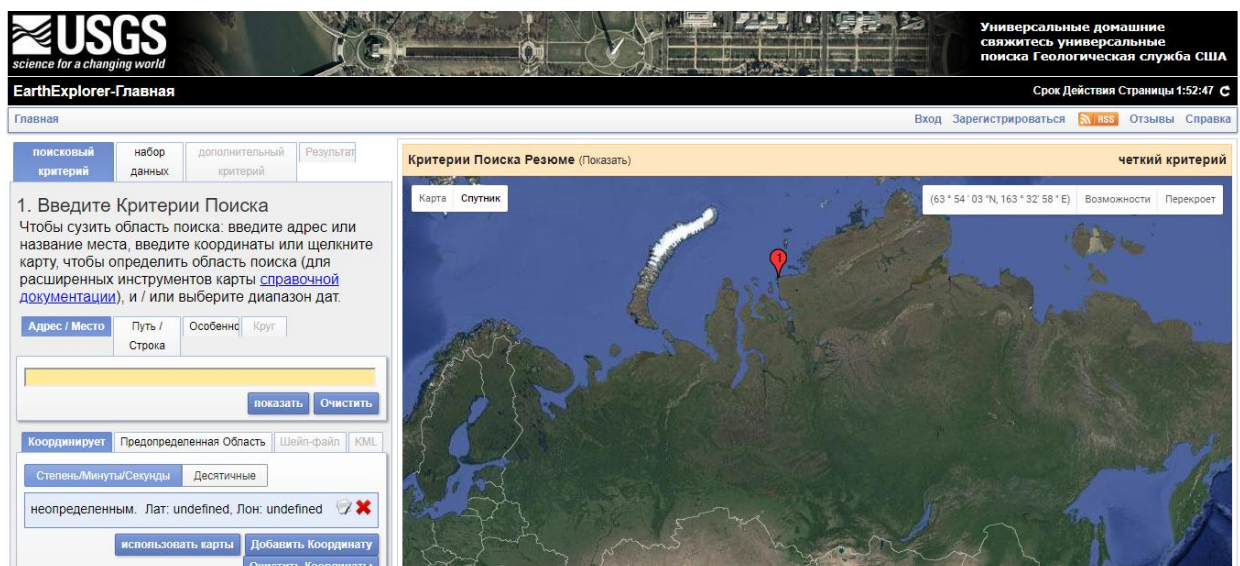


Рисунок 9 – Пример работы на сайте EarthExplorer

Слева на сайте расположено поле, в котором можно установить нужные нам функции.

Address/Place (Адрес/Место) – поле для ввода координаты или название объекта для поиска (страна, город, улица или название любого другого природного объекта).

Path/Row (Путь/Строка) – инструмент, позволяющий найти координаты интересующего объекта зная значения его ряда и колонки.

Feature (Критерии) – инструмент, с помощью которого можно найти координаты интересующего объекта по таким критериям как: страна, растительность, населенные пункты, административные объекты, и др.

Далее нужно перейти на вкладку DataSets для получения архивных снимков, выбираем интересующий спутник (рисунок 10) в нашем случае Landsat 8 (level 1, 2) и Sentinel-2.

Вкладка *Additional Criteria (Дополнительные критерии)* – содержит дополнительные критерии поиска: количество облачности, станция идентификации данных со спутника, время суток (день/ночь), возможность просмотра изображения, интервалы значений схемы разграфки системы Worldwide Reference System (WRS) (рисунок 11).

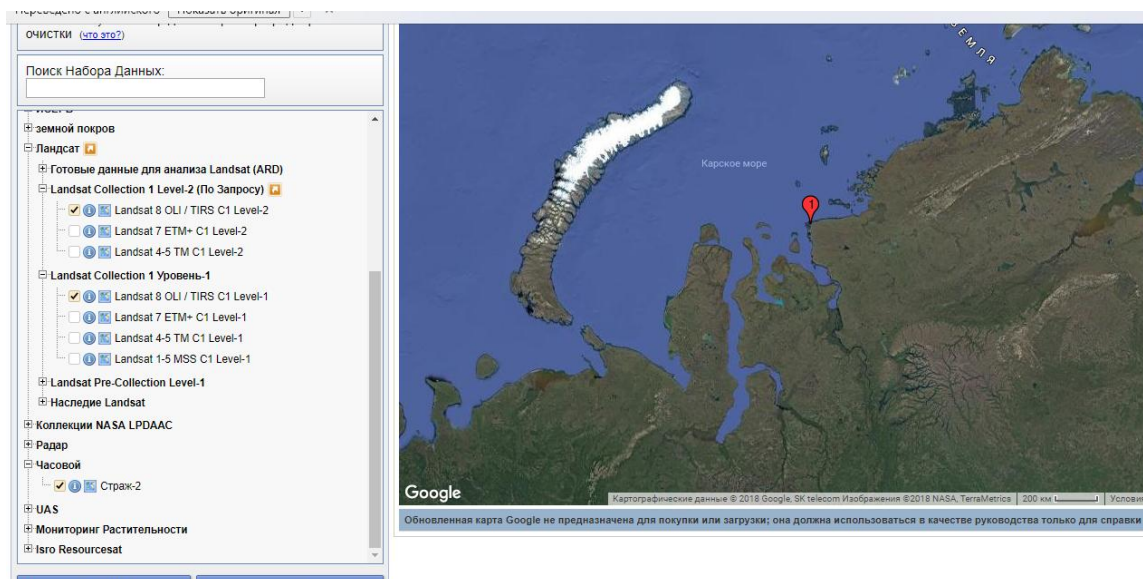


Рисунок 10 – набора данных поиска

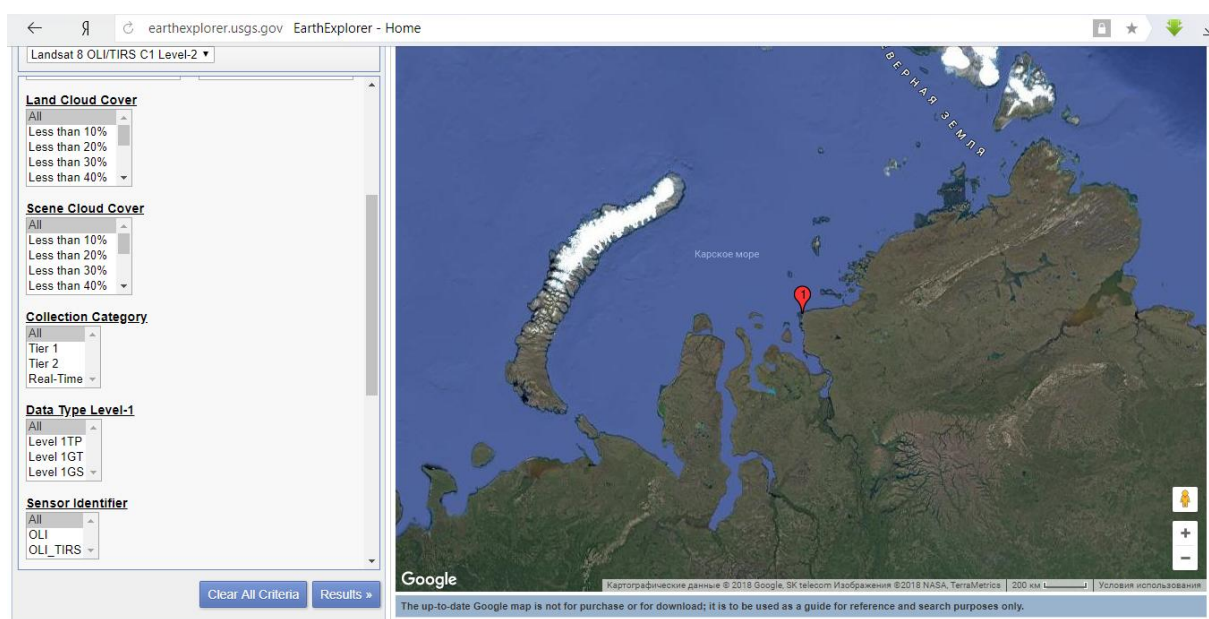


Рисунок 11 – Вкладка выбора дополнительных критериев

Нажимаем *Results* (*Результаты*) . В следующей вкладке (рисунок 12) выводятся результаты поиска. Рядом с каждый доступным снимком, находится панель инструментов, позволяющая отобразить снимок на карте, показывать метаданные или его скачать, выбрав нужный вариант для загрузки. Так же

можно добавить снимок в библиотеку для «массового» скачивания и исключить снимок из глобального поиска.

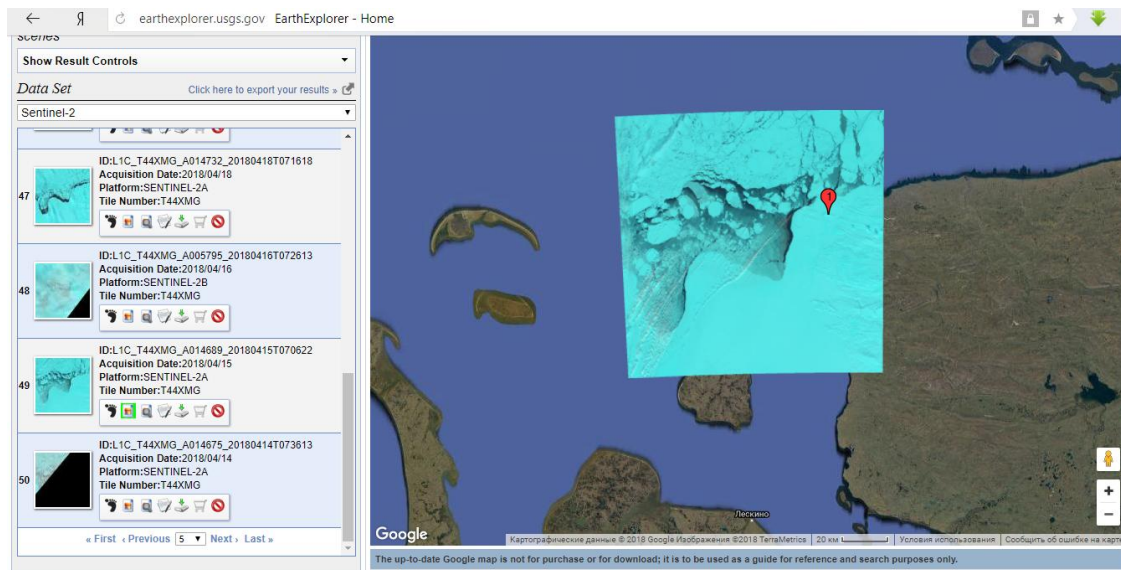


Рисунок 12 – Отображение результатов поиска

2.2 Аргументирование информации и адаптация информации под цели.

Методика обработки космической информации используется в самых различных отраслях. Она является универсальной как для мониторинга местности, так и для научных исследований. С помощью снимков со спутников ученые отслеживают проблемные участки, динамику прибрежных зон, экологические ЧС, мониторинг морей и океанов, движение льдов и т.д.

Использование снимков позволяет оценивать общее состояние и изменения самых разных характеристик подстилающих поверхностей. Тяжело оспорить тот факт, что выгода и простота данной методики заключается в локальном проведении работ по изучению удаленных территорий.

Инновационная разработка к изучению динамики береговых зон дает возможность минимизировать расходы на поездки в исследуемые регионы. К недостаткам этой методики можно отнести, в редких случаях, отсутствие необходимых сцен в архивах спутниковых данных. Ещё одной проблемой

может послужить неподходящее пространственное разрешение под использования снимков под конкретную цель. В таких случаях необходимо обращаться в компании предоставляющие спутниковые снимки.

В зависимости от бюджета и цели проводимого исследования определяется качество работ, снимки небольшого разрешения можно получить и обработать без финансовых затрат, причиной будет служить детальность необходимого анализ. В крайних случаях, группы исследователей необходимые спутниковые данные приобретают у компаний, занимающихся эксплуатацией космических аппаратов.

UNESKO BILKO

ЮНЕСКО БИЛКО (рисунок 13) – это современное программное обеспечение, предназначенное для обработки данных дистанционного зондирования. Программное обеспечение (ПО) включает в себя функции обработки и анализа изображений в различных графических форматах. [17]

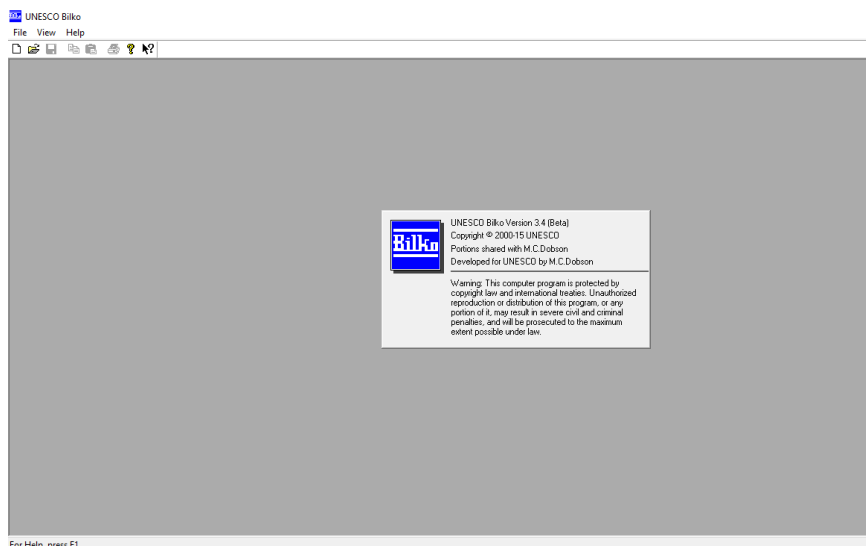


Рисунок 13 – Главный экран ПО ЮНЕСКО БИЛКО

Возможности ПО БИЛКО:

- Чтение сжатых форматов изображений;

- Работа с 3D и многоканальными данными (возможность восприятия до 128 каналов)
- Автоматическая геокоррекция данных EarthExplorer
- Поддержка известных форматов изображений, которые используются в сфере дистанционного зондирования

Для работы с изображениями используются следующие инструменты:

1. Контрастирование
2. Создание и использование цветовых палитр
3. Создание композитных изображений
4. Изменение масштаба и вращения изображений
5. Отображение пиксельной информации
6. Полноэкранный режим

ПО поддерживает возможность создавать композитные изображения для изучения каких-либо характеристик водной поверхности, выброса органических веществ, разграничений почв и обнаружения лесных пожаров.

ScanMagic.

ScanMagic многофункциональное ПО, предназначенное для просмотра, анализа и обработки данных ДЗЗ, а также для организации каталогов результатов космической съемки. Программа поддерживает большое число общих графических, ГИС и ДЗЗ форматов, позволяет выполнять визуализацию, географическую привязку и геометрическую коррекцию космических снимков.

Средства каталогизации программы ScanMagic позволяют создавать и редактировать пользовательские каталоги, выполнять атрибутивный поиск и отображать результаты выборки информации из каталогов, осуществлять импорт и экспорт каталогов для обмена информацией между пользователями, а также реализовывать работу с каталогами внутри локальной сети.

Выводы

В данной главе были описаны общие характеристики программных обеспечений для обработки информации и получения информации о положении кромки льда и арктических морях с начала исследований и по сегодняшний день. Выделены общие характеристики программных обеспечений для обработки информации. Используя программные обеспечения можно обрабатывать изображения, полученные со спутников, выполнять географическую привязку, делать профили любой местности, что важно для анализа данных дистанционного зондирования Земли. Подводя итог, можно сделать вывод, что с их помощью современного оборудования, в нашем случае спутников и ПО для обработки их снимков, можно получить информацию о любом интересующем и труднодоступном районе Арктики.

Глава 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ И ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КРОМКИ ЛЬДА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ И НАВИГАЦИОННЫХ ЦЕЛЯХ

3.1 Физико-географические особенности Карского моря и о. Диксон

Карское море относится к Евразийскому суббассейну Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (рисунок 14). Море расположено преимущественно в пределах материковой отмели (на шельфе), поэтому около 40 % его площади занимают глубины менее 50 метров и лишь 2% – более 500 метров, средняя глубина моря 127 м.



Рисунок 14 – Районирование Карского моря

Рельеф дна сложный – наиболее выровненные участки расположены в южной части моря. Большое количество островов с общей площадью около 10 000 км².

Карское море – одно из самых холодных морей России. Большую часть их толщи составляют воды с температурой ниже 1,5°С. Зимой температура воды в подлёдном слое от -1,5 °С до -1,7 °С, только близ устьев рек температура воды летом поднимается выше 0°С.

Верхний слой вод сильно распреснён речным стоком и летним таянием льдов. Солёность вблизи устья Енисея равна 10-12‰, к северо-востоку она возрастает до 30‰.

Большую часть года море покрыто льдом. Ледообразование начинается в сентябре на севере и в октябре на юге. Зимой вблизи берегов и между островами образуется припай, толщина однолетнего льда может достигать 120 см. За припаем располагаются дрейфующие льды, встречаются значительные пространства многолетних льдов толщиной до 4 м. К лету припай разрушается.

В море впадают крупные реки: Таймыра, Енисей, Пясины и Ленинградская. Основные заливы – Енисейский, Пясинский, Таймырский и Гафнер-фьорд, врезаны в невысокий пологий берег материка.

Прибрежные части моря и устья рек богаты фауной беспозвоночных и полупроходных рыб (сиг, омуль, муксун, нельма, голец). Из морских млекопитающих в море обитают нерпа, морж, морской заяц, белуха. На островах много птиц (преобладают кайры, гагарки, люрики), населяющих птичьи базары. Из наземных животных острова посещают белый медведь и песец. [18]

Море является частью трассы Северного морского пути (СМП) с портом Диксон. В грузоперевозках преобладают: лес, стройматериалы, грузы и продовольствие. В связи с открытием в Обь-Енисейском районе крупных

месторождений нефти и природного газа роль карских морских путей сильно возросла. [19]

К неблагоприятным для плавания условиям относят следующие факторы:

- Большое число подводных опасностей и мелководных участков;
- Практически постоянное наличие льда;
- Раннее замерзание устьевых участков впадающих в море рек;
- Отсутствие во многих районах моря укрытых якорных стоянок;
- Слабая изученность морских течений;
- Значительное число пасмурных дней, которые исключают возможность визуальных и астрономических наблюдений;
- Частые туманы и штормы;.[20]

3.2 Общие сведения о гидрометеорологических сведениях Карского моря и о. Диксон.

Общая климатическая характеристика о. Диксон. Климат поселения суровый, чрезвычайно ветреный, рассматривая в природно-климатической зоне является— арктической пустыней или тундрой. Такие климатические условия способствуют развитию на островах зональных ледниковых покровов, изолированных очагов оледенения, многолетней мерзлоты. Таким образом, климат островов можно характеризовать как арктический или морской.

Средняя годовая температура очень низкая ($-11,2^{\circ}\text{C}$) (рисунок 15). В течение всего года остров окружен непроходимым барьером торосистых льдов, сильно понижающие температуру лета, остров окутан туманами, приносимыми ветрами со всех сторон. Преобладают северные ветры. Лето короткое и прохладное (в июле $2,4^{\circ}\text{C}$). Полярный день длится около 70-80 суток. Зима холодная и продолжительная. Полярная ночь длится 64 дня, в которую продолжаются порывистые ветра и снежная пурга. Февральская температура -

24,5°C. Годовое количество осадков около 200 мм. Осадки выпадают преимущественно в виде снега. Даже летние дожди чередуются со снегом. [21]

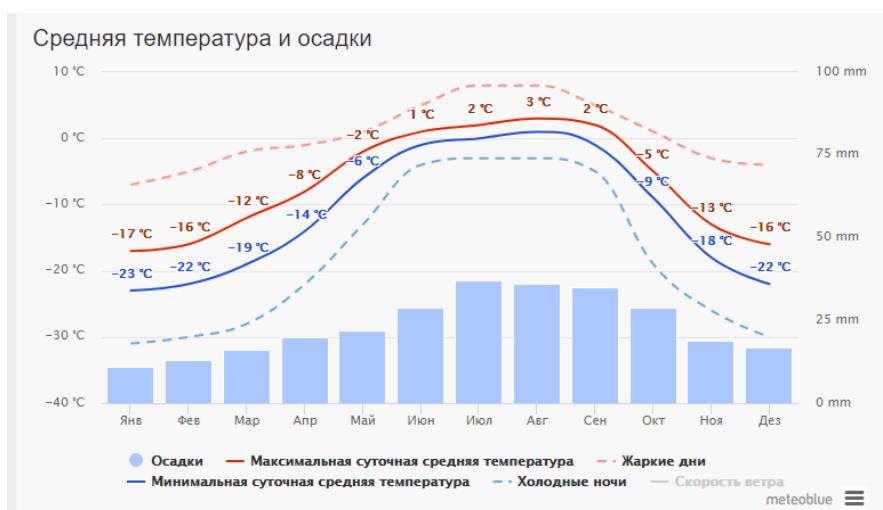


Рисунок 15 – Средне годовая температура о. Диксон

Распределение температуры воды Карского моря. Термический режим Карского моря является не однородным. Географическое положение моря создают видимые различия в режиме температуры воздуха над разными частями моря. Суровые климатические условия Карского моря не дают прогреваться его водам. Зимой, когда море сплошь покрыто льдом, температура воды под ним близка к температуре замерзания (-1.7,-1.9°C). Наиболее низкие температуры фиксируются в районах поступления соленых вод Баренцева моря, тем временем высокие температуры отмечаются вблизи устьев рек. Соответственно в мелководных районах моря водные массы от поверхности до дна почти однородны и имеют отрицательную температуру. [22]

В летний период распределение температуры воды на поверхности моря определяется ледовыми условиями, стоком речных вод и водообменом с соседними водоемами. Поэтому на севере в зоне дрейфующих льдов температура воды незначительно выше точки замерзания.

Открытая поверхность моря на севере прогревается до 2°C и до 6°C на юго-западе. При этом в северной и восточной частях моря прогрев распространяется на глубину 10-15 м, на юго-западе – до 60-70 м.

В осенний период выхолаживание быстро уничтожает летний прогрев выравнивая температуру по всей толще воды, исключая районы распространения глубинных атлантических вод. [23]

Циркуляция вод. В Карском море постоянно изученными являются постоянные поверхностные течения. В их формировании большую роль играют речной сток и водообмен с прилежащими бассейнами, особенно с Баренцевым морем. Скорости постоянных течений изменяются от 5 до 15 см/с. Однако, если они совпадают по направлению с ветровыми течениями, то их скорости увеличиваются до 70-90 см/с. В зависимости от типа атмосферной циркуляции система течений может испытывать значительные изменения. [24]

Ледовые условия. Вследствие географического положения Карское море ежегодно замерзает (Рисунок 14). Лед образуется как в самом море, так и поступает из Центрального Арктического бассейна. Большую часть года Карское море покрыто сплошным ледяным покровом. В юго-западной части моря лед наблюдается в течение 7-8 месяцев, с ноября по июнь-июль. Северо-восточная часть моря в летний период не полностью очищается от льда. Ледообразование в Карском море обычно начинается в сентябре в северных районах и в октябре – ноябре на юге. В зимний период неподвижный лед бывает только вблизи берегов в виде припая. За припаем обычно располагаются плавучие льды. В большинстве случаев это обширные ледяные поля. [25]

За зиму лед достигает толщины 0.5 - 1.5 м. Таяние ледяного покрова в Карском море начинается на юго-западной части в конце мая. В июне окончательно тают молодые и однолетние тонкие льды в полыньях и в разводьях и частично однолетние средние льды. В процессе таяния ледяного покрова происходит медленное разрушение припая и распадение его на обширные дрейфующие поля. К концу июля половина юго-западной части моря под влиянием тепловых и динамических процессов очищается ото льда. В

конце августа - начале сентября в 80 % случаев этот район полностью освобождается ото льда. К завершению периода таяния (в сентябре) в среднем около половины района остается занятой остаточными льдами. В сентябре процессы таяния замедляются. В течение сентября вследствие дрейфа и таяния льда очищается еще 10-15 % моря. В северных районах моря в это время начинается ледообразование. В период таяния сплоченные (7-10 баллов) льды моря локализируются в ледяные массивы.

Самым крупным массивом считают Северный Карский массив, его льды разрушаются медленнее остальных ледяных массивов моря, и до 40 % его площади не вытаскивают в летний период. Большую часть летнего периода Североземельский массив блокирует важные подходы к архипелагам и проливам, и в среднем до 20-25 % массива сохраняются до начала ледообразования. [26]

Выводы

Повторяемость воздушных масс, с особенностями которых связан характер погоды, определяет основные черты климата территории. Температурный режим о. Диксон определяется наличием многолетней мерзлоты, близостью холодного Карского моря, обилием заливов, рек и болот. С юго-запада на северо-восток преобладает неоднородность климата из-за влияния Северного Ледовитого и Атлантического океанов. Частое вторжение холодных арктических атлантических и воздушных масс умеренных широт вызывает увеличение циркуляционных условий, резкие перепады давления и температуры воздуха, быструю смену направлений и скорости ветров, преобладание осадков в виде снега и дождя.

Глава 4. ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ КРОМКИ ЛЬДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

В данном разделе описаны способы определения положения кромки льда. Актуальность рассмотрения моего района заключается в том, что Карское море является частью трассы Северного морского пути с портом Диксон. В связи с устойчивым льдообразованием на акватории порта и подходных путях к нему навигация в районе о. Диксон обычно начинается в конце июня, и заканчивается в конце ноября. Так в 2017 году по распоряжению капитана порта Владимира Кантемира, размещенном на сайте Администрации морских путей Западной Арктики, навигация была прекращена 8 ноября. [27] Таким образом, к порту о. Диксон от 6 месяцев в год нет подхода различным судам.

По оценкам погоды за последние годы (рисунок 16, 17), площадь льдов уменьшилась. Более того, согласно статистике, каждые 10 лет на Северном полюсе количество льда уменьшается примерно на 13%. И если верить НЦДСЛ, (Национальному центру обработки данных снега и льда) если эта динамика останется без изменений, то вполне вероятно, что уже в 2050 году круизные лайнеры будут устраивать обзорные экскурсии по свободной ото льдов Арктике, а нефтяные компании начнут борьбу за право бурения ее земель для добычи ископаемого топлива. [28] Тем не менее, уже сейчас можно рассуждать о начале навигации в интересующем нас районе намного раньше, сохраняя экономическую обстановку в труднодоступных районах.

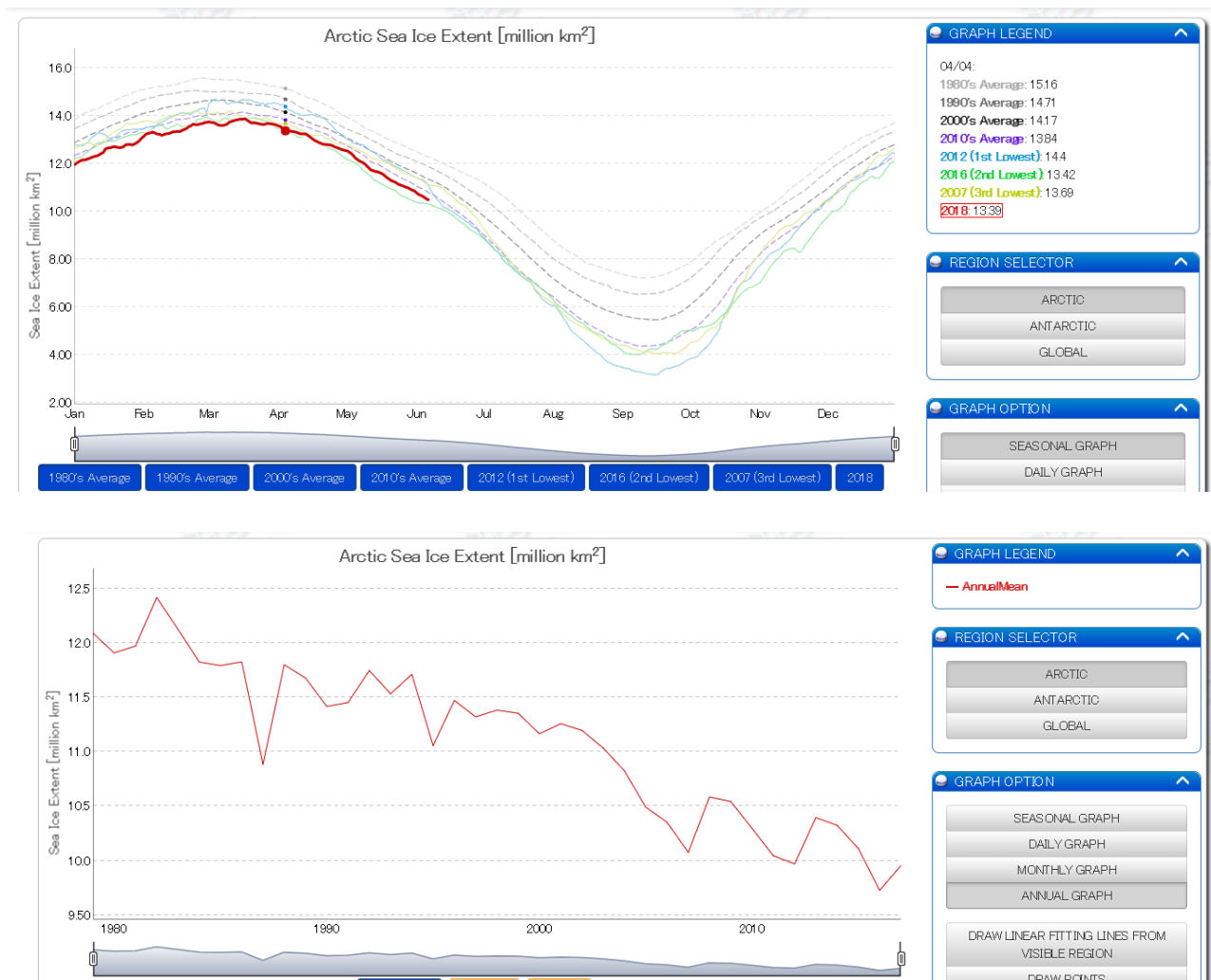


Рисунок 16, 17 – Изменение площади морского льда по данным ADS с 1980 по настоящее время.

Arctic Sea Ice Extent — площадь льда в Арктике.

Перепады уровня моря в 2016-2017гг. при стонно-нагонных явлениях составляют в районе Диксона 1,2 м, скорость приливо-отливных течений – 0,3 м/сек. Максимальная высота волны 5,8 м, средняя высота волны –1,5-2,0 м. Залив покрыт льдом 7-8 месяцев в году. Толщина льда достигает 1,5 м. Вскрытие происходит в конце июня, окончательное очищение ото льда – в конце июля. (рисунок 18)

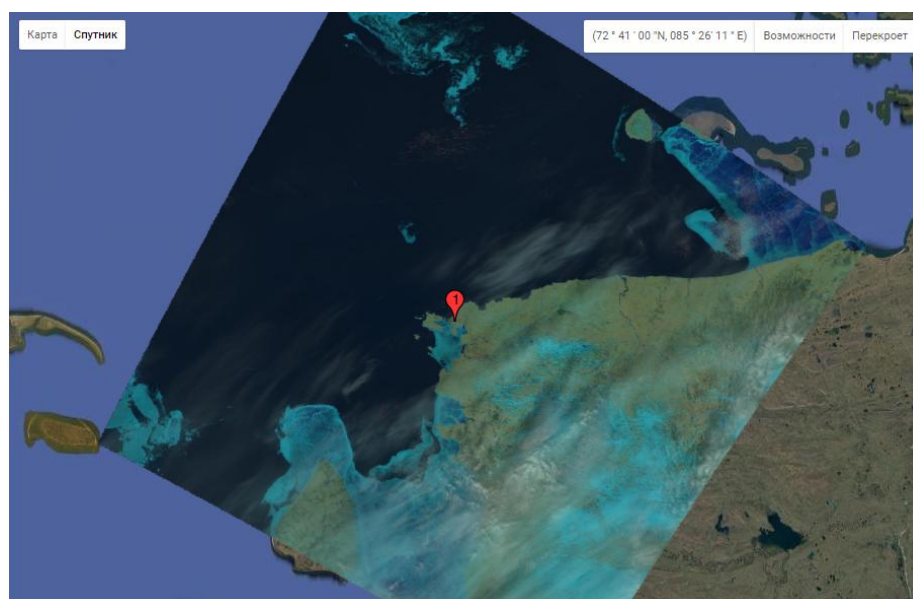


Рисунок 18 – Положение льдов. Landsat-8. 25 июня 2017г.



Рисунок 19 – Окончательно очищение от льдов прибрежной зоны Диксона.
Landsat-8. 15 июля 2017 года

В июле ото льда очищена половина юго-западной части моря на северо-востоке таяние происходит медленнее. К концу периода таяния практически половина моря остается занятой остаточными льдами. Поэтому в летний период СМП прокладывается вдоль прибрежной зоны (рисунок 20).

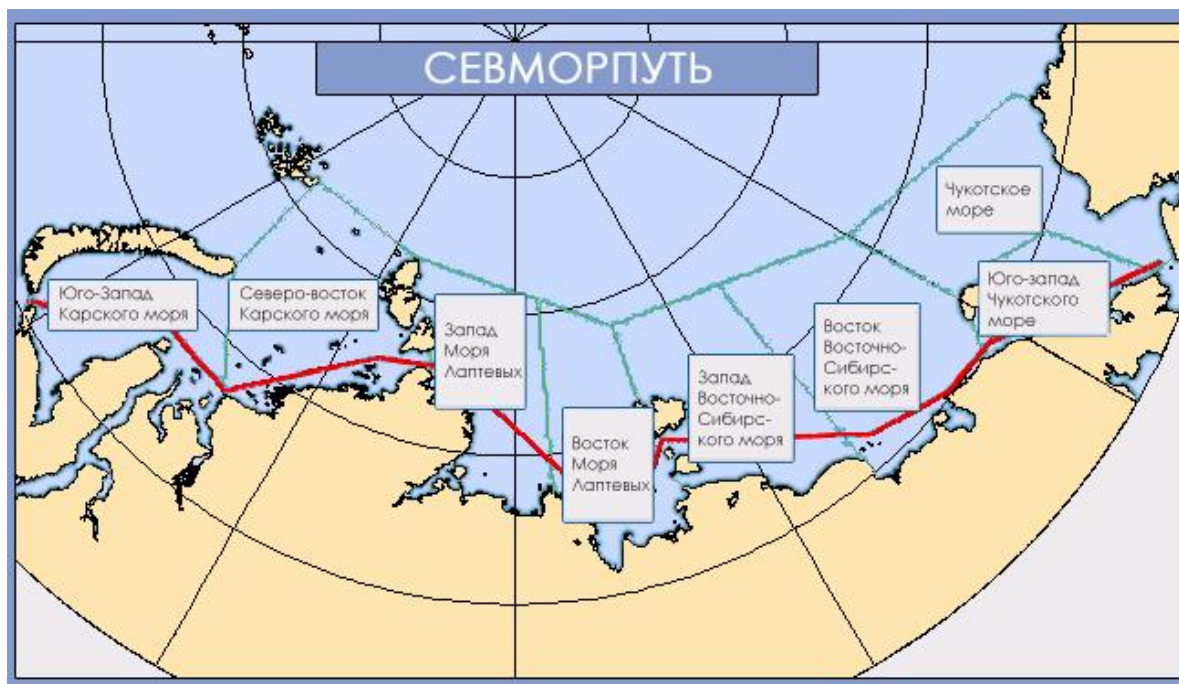


Рисунок 20 – СМП в летний период

В результате толщина ровного ледяного покрова, образовавшаяся осенью, уже к концу зимы в юго-западной части моря составляет почти 120 см, а в северо-восточной - около 180 см. Такие различия в толщине льдов сильно сказываются к началу таяния в ледовых условиях последующим летом.

В первой половине июня из-за таяния ледяного покрова в море площадь льдов постепенно уменьшается. А в течение июня ледовитость уменьшается от 100 % до 90 % и в дальнейшем уменьшается в среднем на 7 % за декаду.

В конце июля — начале августа происходят наиболее резкие изменения ледовых условий. Летний сезон делится на две части: в июне-июле на акватории преобладает высокая сплоченность льдов (7 баллов и более), а в августе-сентябре чистая вода. В июле-августе выпадает сезонный пик площади

редких и разреженных льдов (сплоченность 1—6 баллов) и соответствует периоду наибольшего разнообразия ледовых условий в Карском море.

Начало ледообразование выпадает на октябрь и заканчивается к середине декабря. В первую очередь замерзают остаточные льды, и только после, замерзание распространяется в сторону чистой воды.

При средних условиях ледообразование всего моря длится в течение 75 суток: с 5 сентября по 18 ноября. При экстремально позднем замерзании оно начинается 20 сентября и заканчивается 24 декабря продолжаясь 95 суток, а при экстремально раннем 20 августа и 15 октября и продолжается 56 суток.

В практической работе использовались снимки исследуемого района в период 2017 – 2018 гг.

Итак, на изображениях, представленных ниже наглядно показано, как начинается ледообразование.



Рисунок 21 – положение льдов за октябрь 2017 год.

Landsat-8.

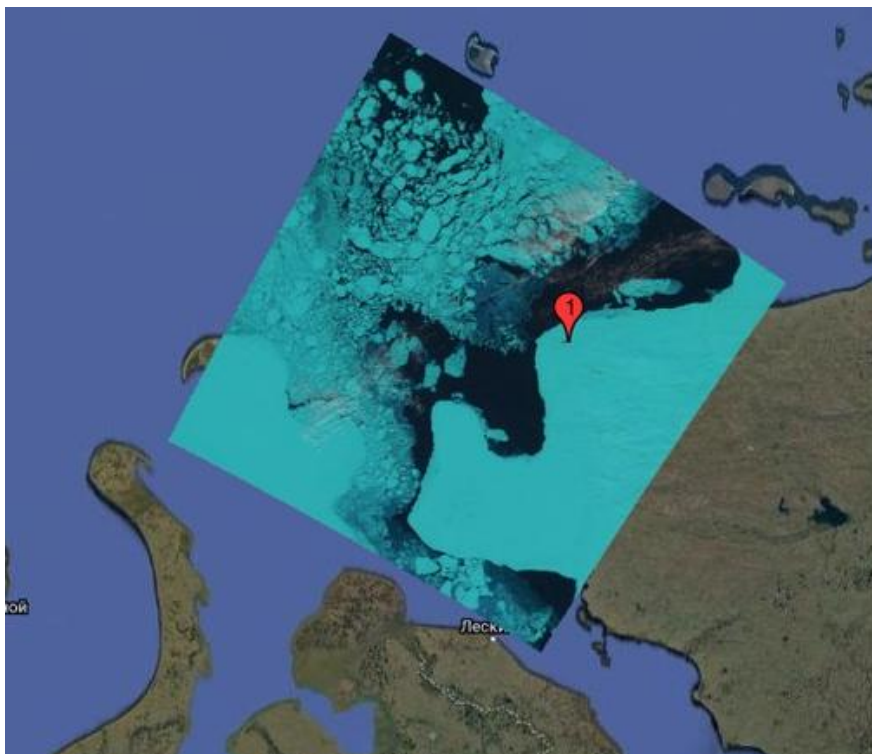


Рисунок 22 – Положение льдов за ноябрь 2017 года.
Landsat-8

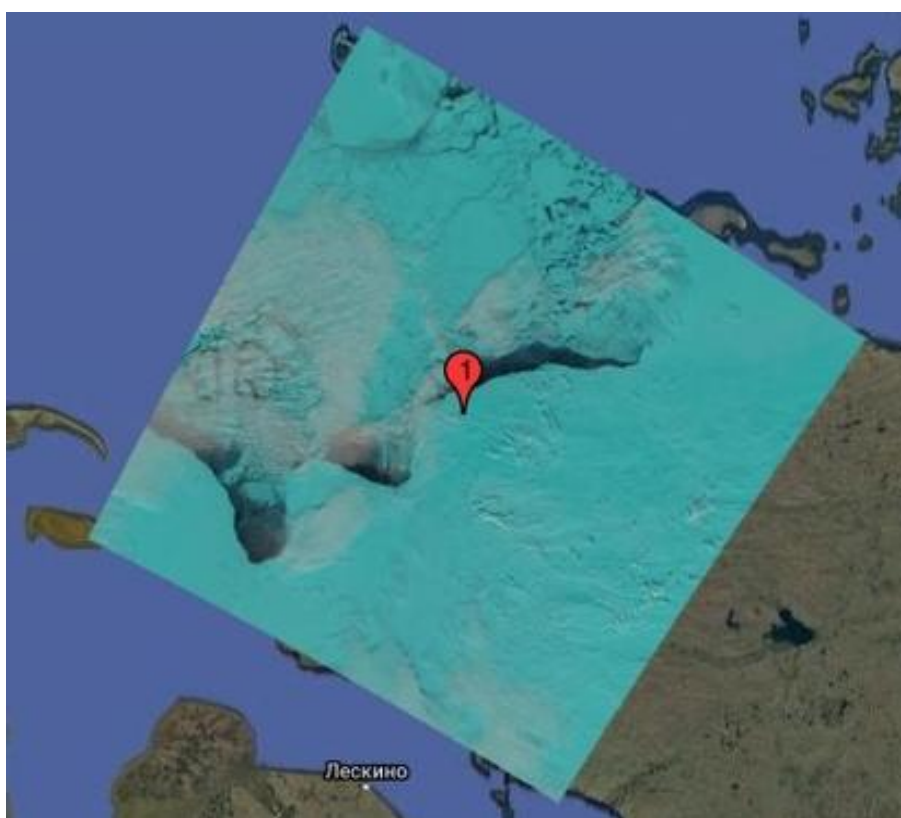


Рисунок 23 – Положение льдов за декабрь 2017 года. Landsat-8

Основные затруднения при плавании судов в арктических морях обусловлены наличием ледяного покрова и необходимостью его преодоления.

Состояние дрейфующих и припайных льдов описывается рядом характеристик ледяного покрова, наиболее существенно влияющих на эффективность и безопасность судоходства во льдах.

К числу таких характеристик относятся следующие:

- Сплоченность ледяного покрова и его возрастной состав,
- Толщина льда,
- Формы льда (горизонтальные размеры льдин),
- Торосистость ледяного покрова,
- Сжатия в ледяном покрове.

Толщина и сплоченность льда. Это основные характеристики с помощью которых выбирают самый оптимальный курс судна: сначала определяют район с наименьшей сплоченностью, затем в этом районе выбирают участок с минимальной толщиной льда. При одинаковой сплоченности и возрасте льда движение судна зависит от формы ледяных образований.

Сплоченность. Это степень покрытия акватории льдом, количественно оценивается как отношение площади льдин в районе, где они распределены относительно равномерно, к общей площади этого района. Выражается, в-десятых, долях. В зависимости от сплоченности лёд классифицируется как *редкий* при сплоченности 1-3/10, *разряженный* 4-6/10, *сплоченный* 8/10, очень сплоченный 9-10/10, смерзшийся 10/10. [29]

При дрейфующих льдинах отдельные суда могут застрять или получить серьезные повреждения корпуса судна по всей его длине и высоте. Поэтому наблюдение за состоянием льда должно быть организовано надлежащим образом. [30]

Поэтому при рассмотрении всех перспектив на увеличение временного промежутка на навигацию в Карском море все данные были рассмотрены и учтены, а во внимания взяты климатические условия, способствующие помехам.

Даты исследования была выбраны в связи началом таяния льдов, для перспектив начала навигации с апреля. По снимку от 15 апреля 2017 года (рисунок 24) сделаем оценки сплоченности и характеристик дрейфа льдов.

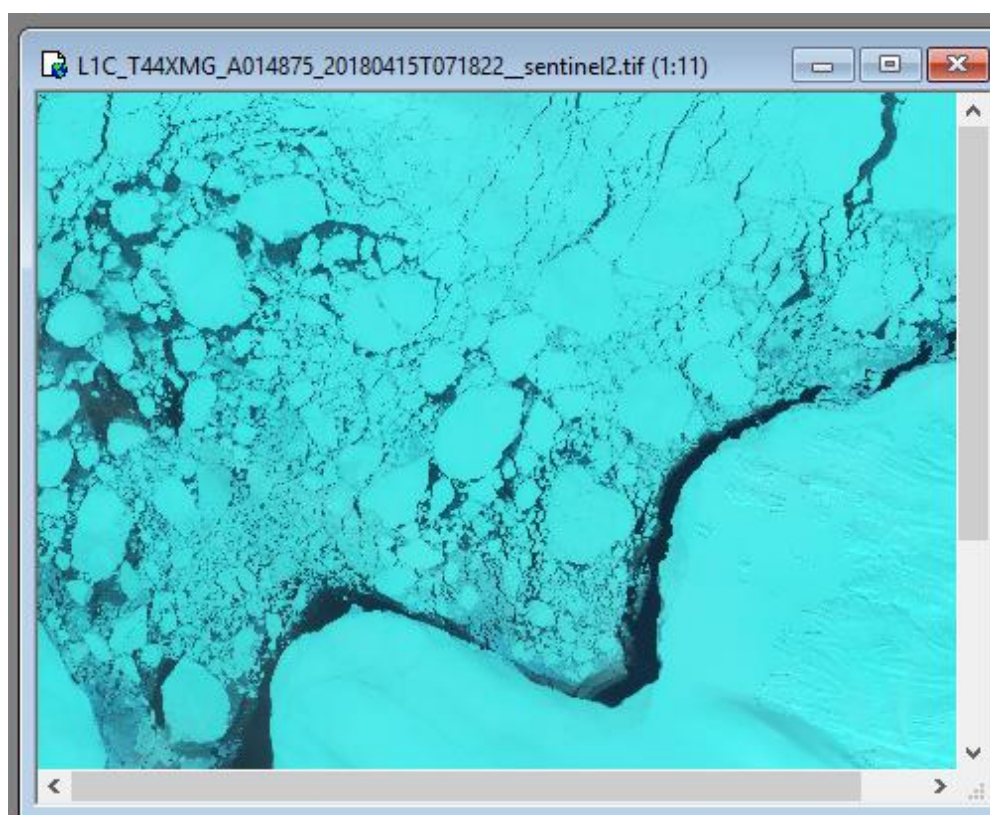


Рисунок 24 – Снимок со спутника Sentinel-2. 15.04. 2017

Ниже представлены графики метеорологических характеристик, в том числе ветра за 15 апреля 2017, по которым можно определить движение льдов для дальнейшего определения актуальности прохождения судов в это время.

В течении дня преобладал юго-западный ветер, следовательно, движение льдов осуществлялось в этом же направлении.

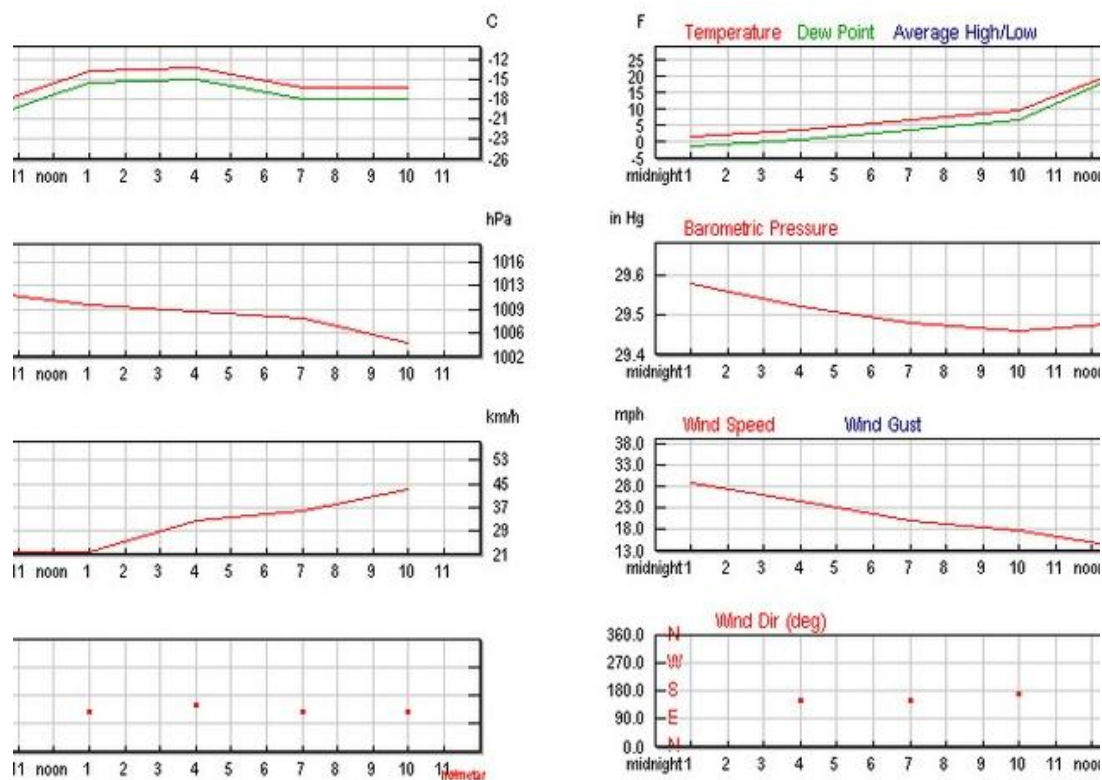


Рисунок 25 – Графики метеорологических характеристик. 15.04.17

Стоит обратить внимание на ветер в этот период, в связи с началом процессом таяния льдов и опасностей столкновения с судном, поэтому в работе была проанализирована скорость ветра на о. Диксон и в прибрежной зоне.

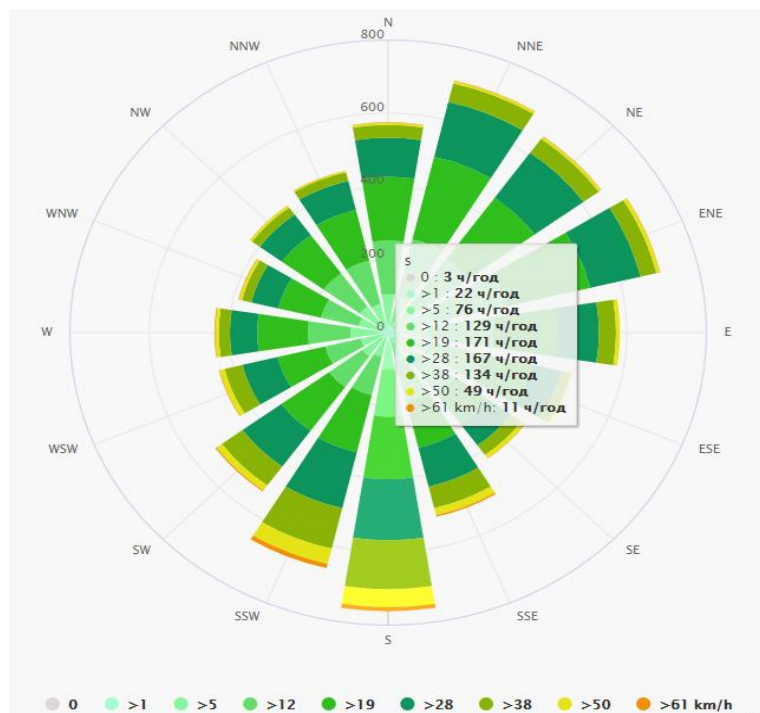


Рисунок 26 – Роза ветров на о. Диксон

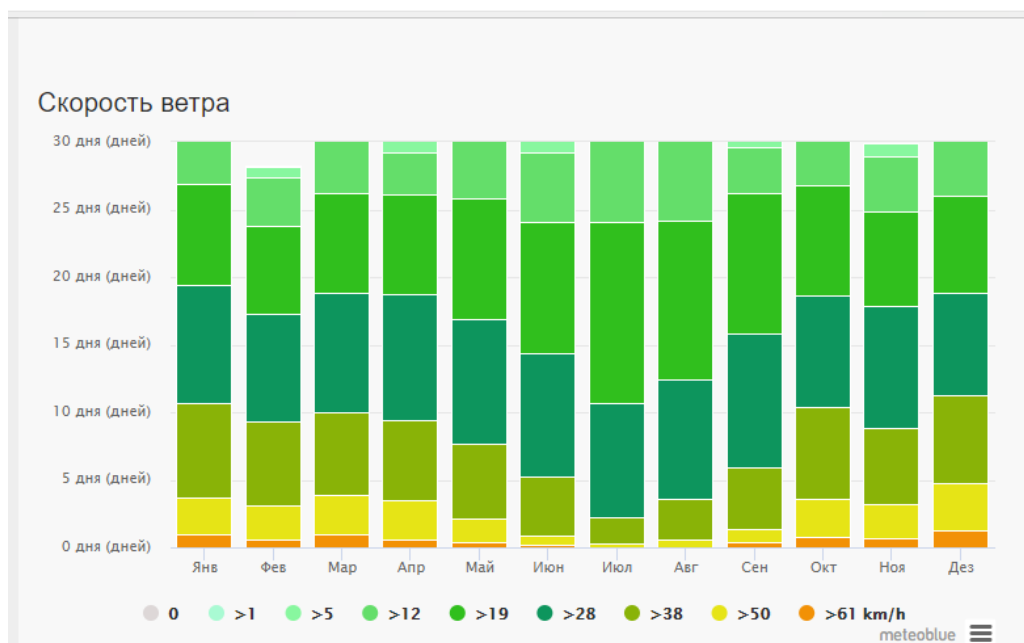


Рисунок 27 – Диаграмма ветра на о. Диксон указывает на те дни в месяце, в течение которых скорость ветра достигает определенного значения.

В последнем графике стоит обратить внимание на исследуемый месяц — апрель. В апреле преобладают довольно сильные ветра, что указывает на большие риски плавания судов в период дрейфа льдин.



Рисунок 28 – Таблица повторяемости скорости ветра. Апрель 2017

Чтобы рассмотреть обстановку подробнее, в программу ScanMagic был загружен снимок с интересующей меня датой, для определения ширины и длины трещин, площади льдин и сплоченности льда.

На данном профиле (рисунок 29) отображается, что лёд в это время года уже дробленный и трещины между льдинами встречаются довольно часто. Из чего можно сделать вывод, что льды активно тают в столь ранний период относительно этого района. В период такого расположения льдов суднам практически не составляет труда попасть в порт, и отсутствует необходимость в сжатых сплоченных льдах прибегать к способу проводки судов, называемый «тандем», при котором вспомогательный ледокол, буксирующий судно вплотную, берется на буксир головным ледоколом также вплотную и, упираясь своим форштевнем в кормовой вырез головного ледокола, помогает ему преодолевать быстро закрывающийся канал после прохода ледокола.

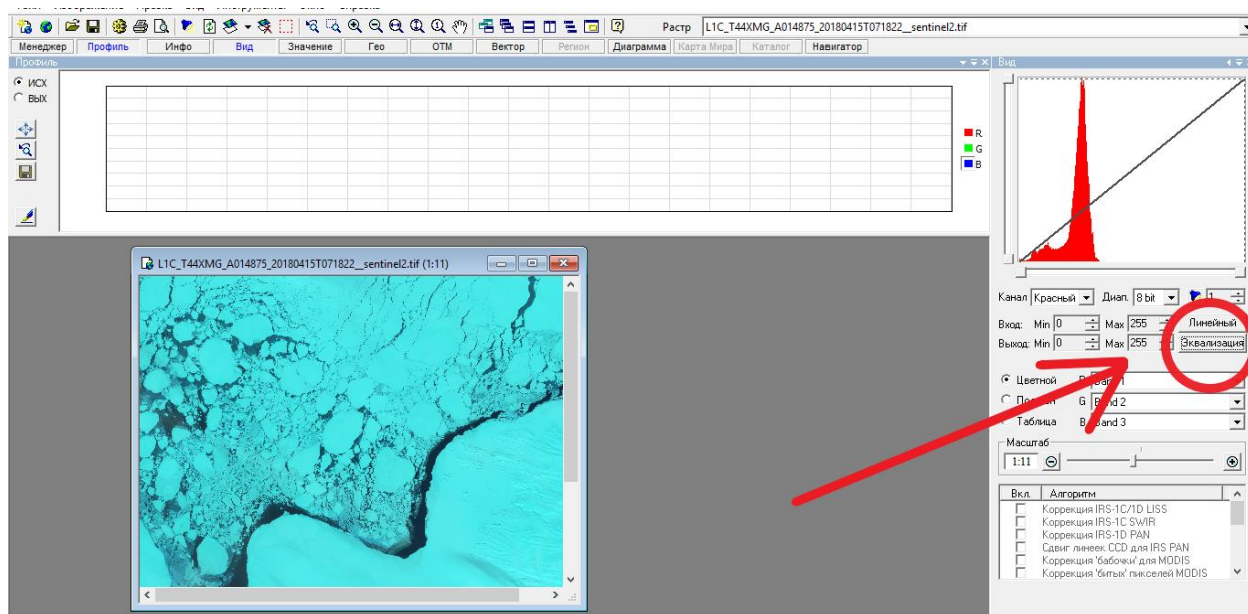


Рисунок 29 – Исходное загруженное изображение со спутника Sentinel-2 в ScanMagic

Для начала было применена функция контрастирования (эквализация), при которой изображение выравнивалось по гистограмме. Задействование этой функции можно увидеть в правой части рабочей программы, чтобы отображение льдин было более явным и можно было визуальнo оценить ситуацию разлома ледяного покрова.

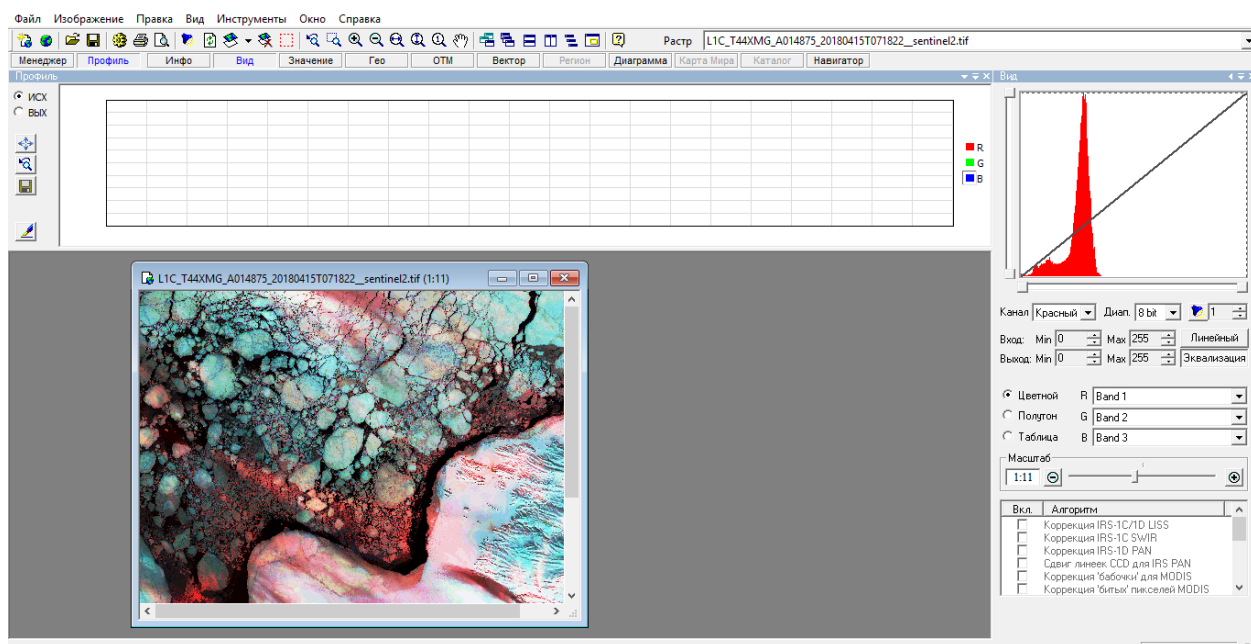


Рисунок 30 – Снимок выровненный по гистограмме в ScanMAgic.

После контрастирования можно обратить внимание на обстановку льдов, трещины явно выделяются и преобладают в большом количестве.

Чтобы дать оценку возможности прохождения морского транспорта без сопровождения ледокола, избежать серьезных повреждений и вынужденного изменения курса судна в мощных льдах при сильном ветре, следует уточнить локальные данные о сплоченности льда.

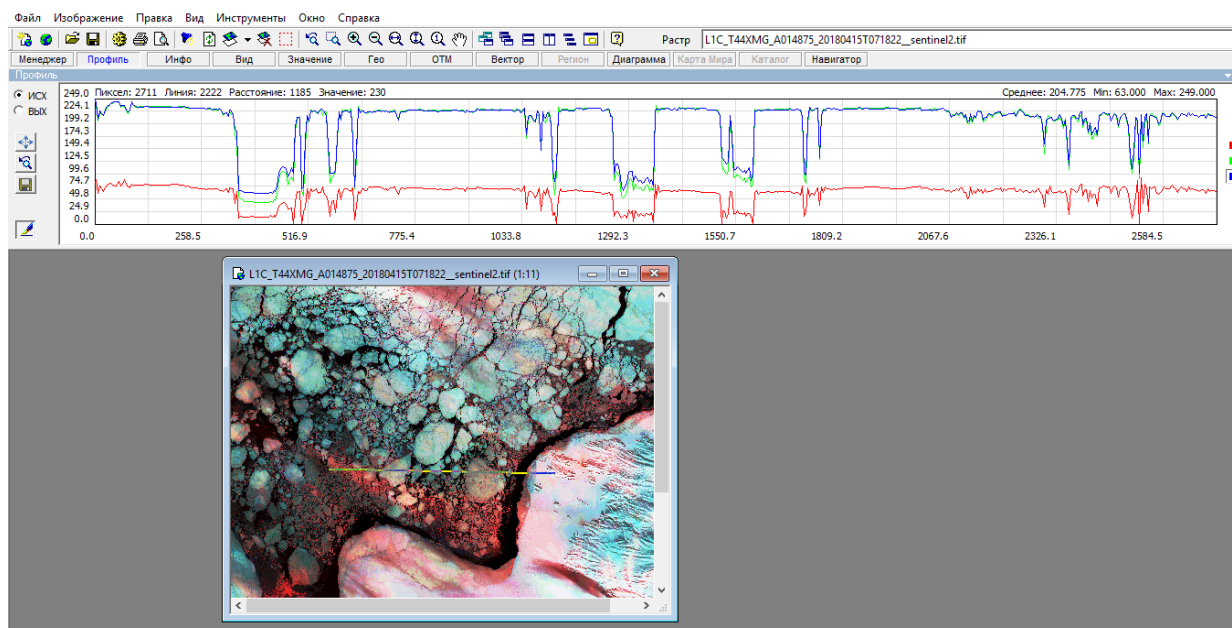


Рисунок 31 – Синим цветом на графике отображается лёд, красный указывает на облачность.

Резкие скачки вниз синего графика указывают на границу между льдом и водой, а расстояние между максимумами на графике показывает ширину трещин или разводьев. Опираясь на этот профиль, можно сделать вывод, что период таяния льдов наступил и можно прокладывать маршруты СМП через порт о. Диксон.

Для более ясной картины были проведены измерения длины и ширины трещин между льдинами (рисунок 32).

В верхнем левом углу рисунка, можно увидеть результат, составляющий 2328.

То же самое было проделано с другой точкой роста значений на графике.

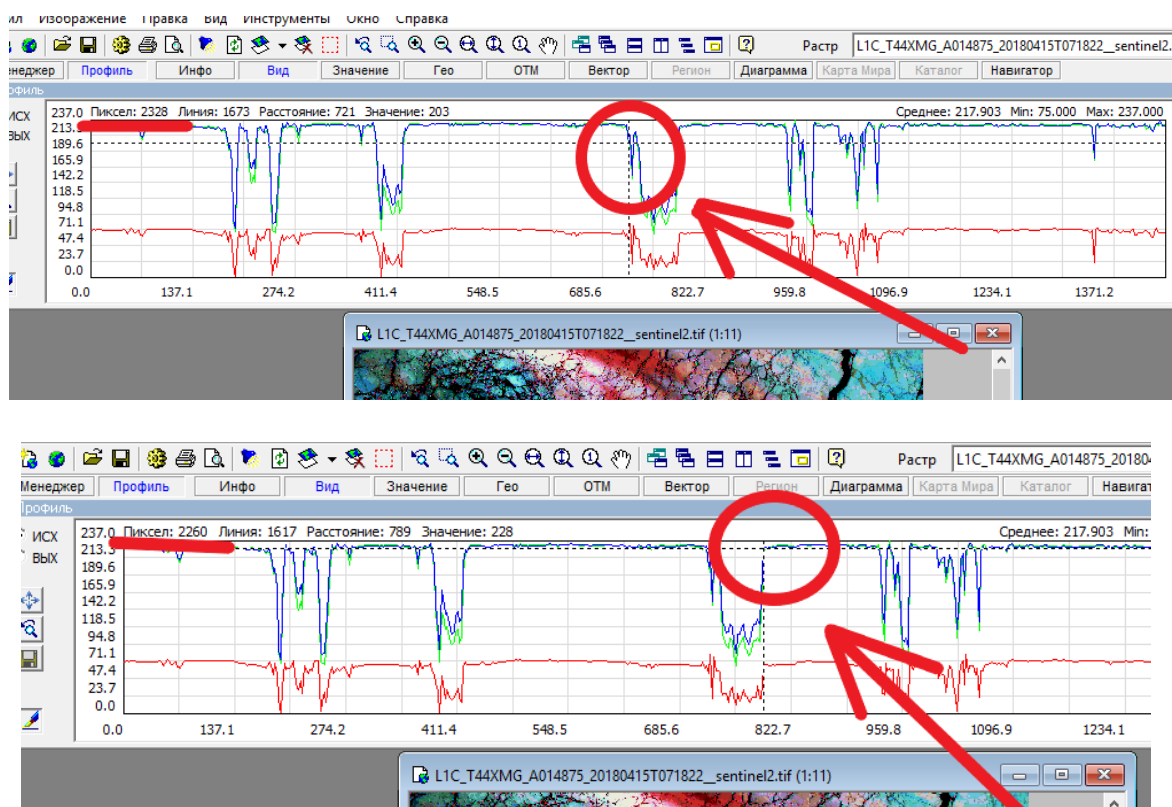


Рисунок 32 – Значение пикселей

На возрастании графика значение пикселей равно 2260.

Для определения ширины трещины пространственное разрешение прибора спутника умножалось на полученную разность. Пространственное разрешение 2-4 каналов спутника Landsat-8 составляет 30 м.

Поэтому расстояние между льдинами, указанное на рисунке, равняется 2040 м.

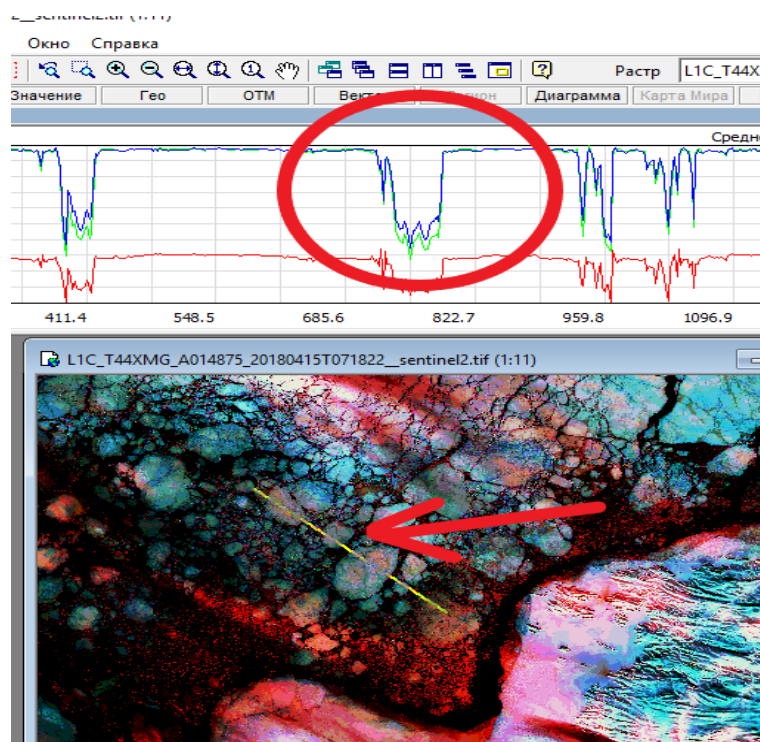


Рисунок 33 – Расстояние между льдами.

Полученные результаты позволяют определить неоднородности в поле льда, определять скорость дрейфа льдин и возможность ледового плавания кораблей по трассе.

Следующей задачей было рассчитать площадь льдины, что позволяло бы в навигационный период, при проложении маршрута, определить ледовую обстановку, и учесть все риски, связанные с движением судов по СМП.

Для выполнения этой задачи я прибегла к помощи программного комплекса UNESCO BILKO.

За исследуемую дату (15.04.2017) данные в нужном формате отсутствовали, поэтому я воспользовалась снимками ближайшей даты (19.04.2017). Распределение льдов с интервалом в 4 суток значительно отличается (рисунок 34).

Для определения площади льдины были получены снимки с описанного прежде портала <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Обрабатывались изображения 2-4 каналами с индексами B2, B3 и B4 (диапазоны синего, зеленого и красного цветов) для построения естественного цветного снимка (рисунок 35).

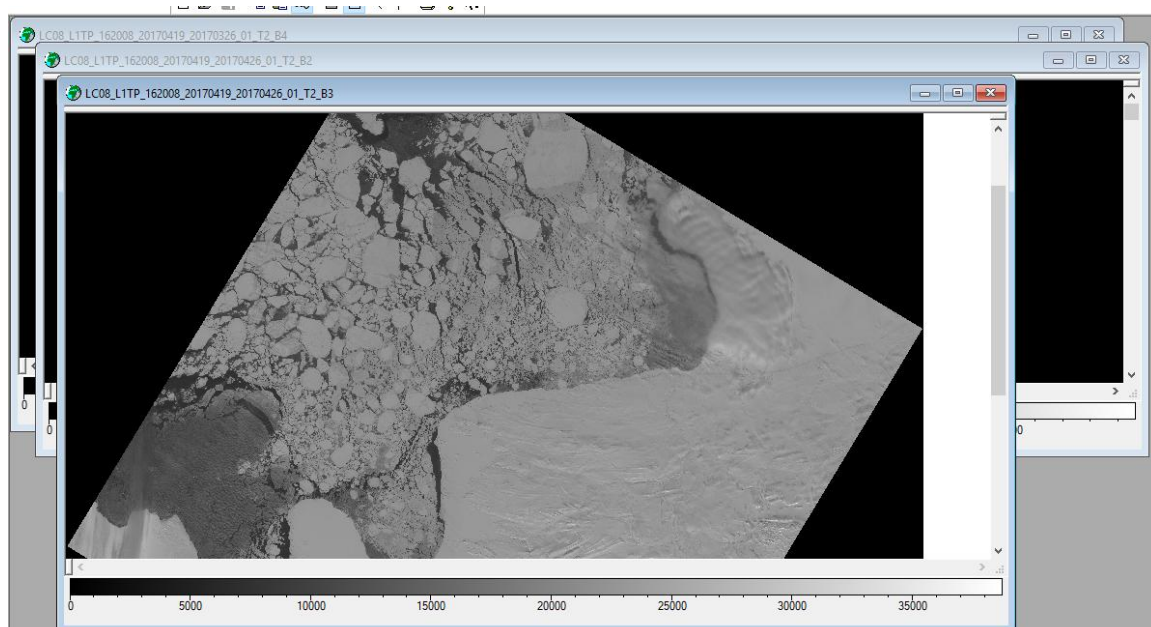


Рисунок 34 - Загруженные исходные изображения за 19.04.2017

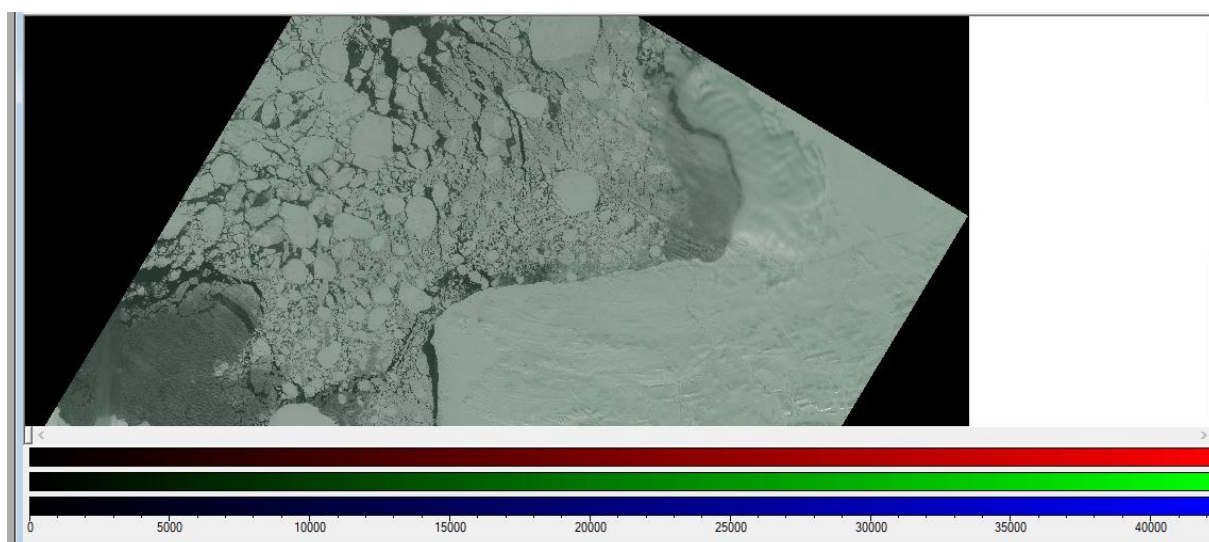


Рисунок 35 – Композитное изображение (4-3-2 каналы)

После визуальной оценки обстановки, была выбрана льдина характерного размера (рисунок 36). Для определения ее площади строится гистограмма (рисунок 37).

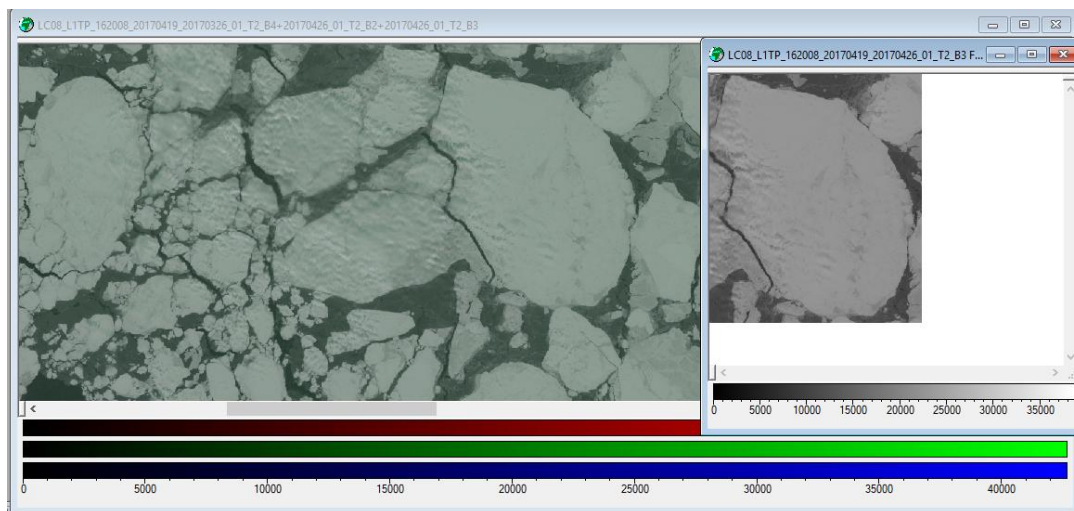


Рисунок 36 – Выбранная льдина

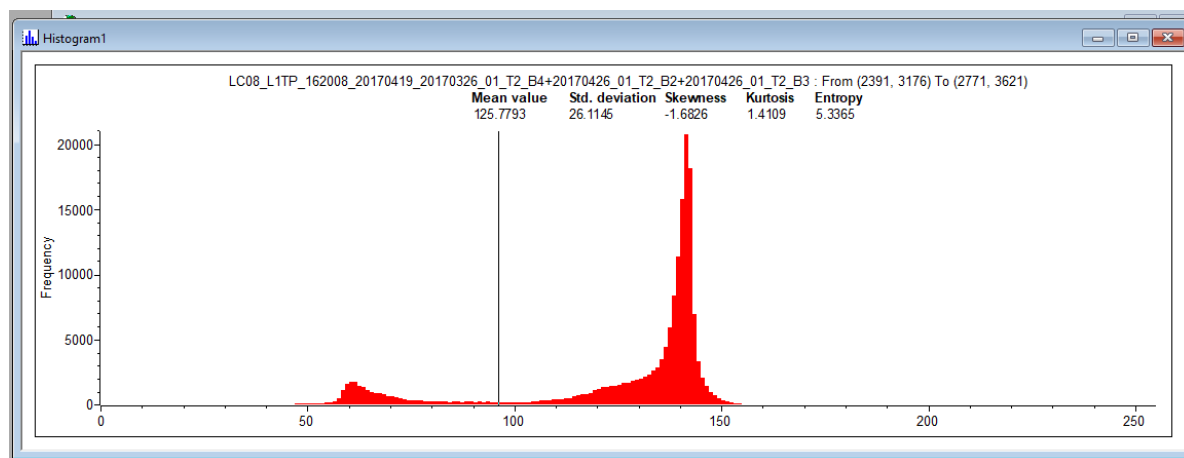


Рисунок 37 - Гистограмма

Ко льду обычно относятся самые больше значения яркости на изображении, а в период таяния льдов, из-за большого разнообразия типов подстилающей поверхности могут быть получены многочисленные спектры характеристик.

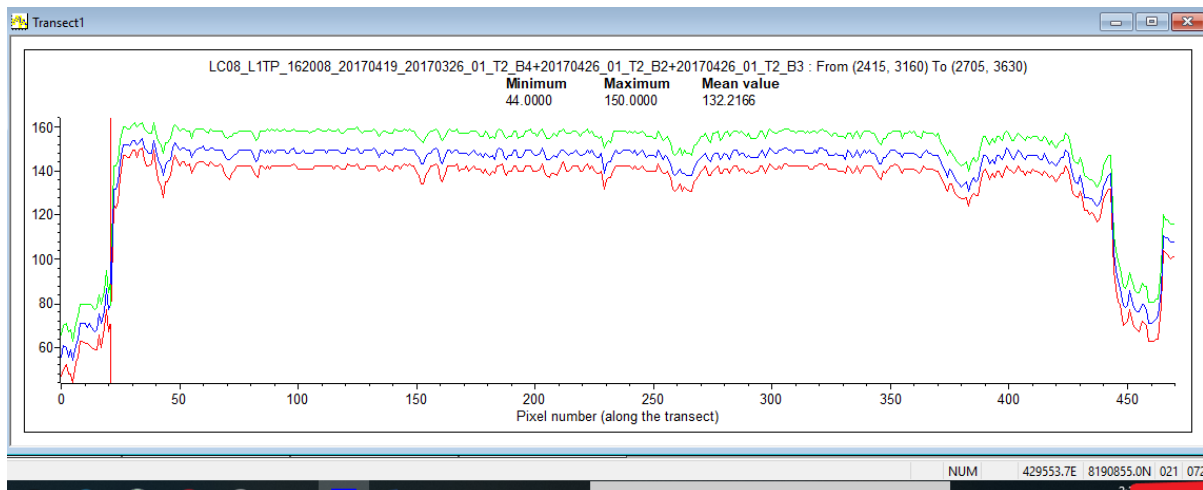


Рисунок 38 – Профиль длины льдины

В правом нижнем углу гистограммы по высоким значения яркости выделяются границы льдины и определяется число пикселей, соответствующее ее поверхности (рисунок 39) - 151678, после чего умножением на площадь одного пиксела ($30 \times 30 = 900 \text{ м}^2$), можно получить площадь льдины, которая равняется $900 \times 151678 = 137 \text{ км}^2$.

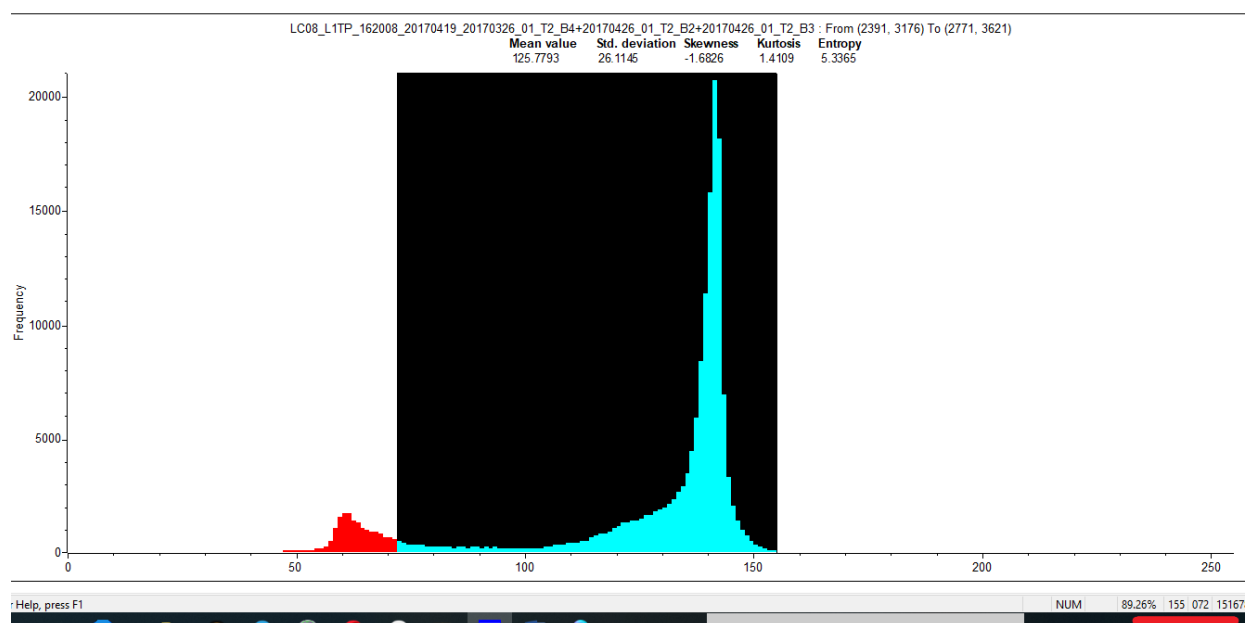


Рисунок 39 – Граница окончания льдины на гистограмме

Для определения сплоченности так же был взят снимок ближайшей даты (19.04.2017) к исследуемой (15.04.2017). Распределение льдов с интервалом в 4 суток значительно отличается (сравнивание рисунков 24 и 34). После загрузки сцены для прибрежной зоны о. Диксон с портала <http://earthexplorer.usgs.gov/>, для определения площадей повторялись операции, описанные выше (рисунки 34, 35).

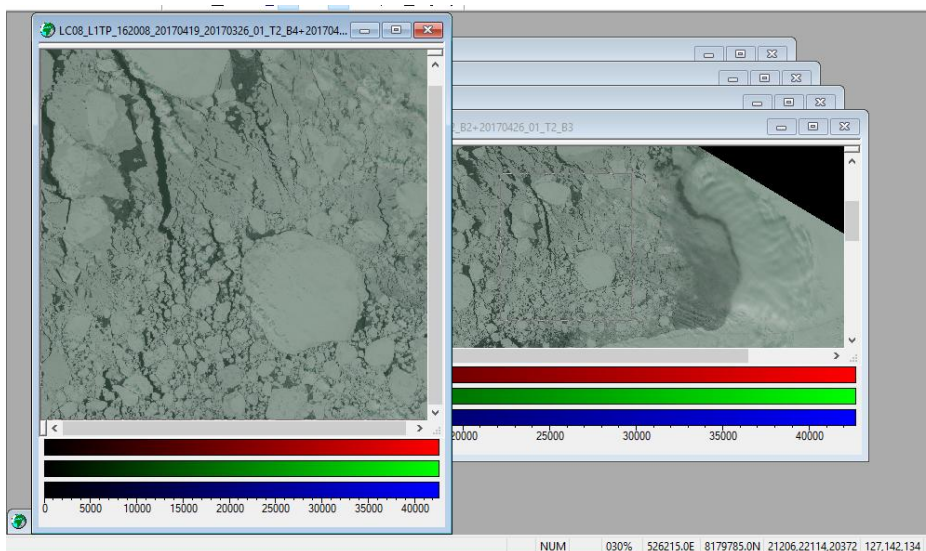


Рисунок 40 - выбранная льдина в прибрежной зоне о. Диксон для определения сплоченности

Для определения сплоченности льда на выделенном участке была построена гистограмма. Сплоченность составила около 92 %, что указывает на значительное количество льда в прибрежной зоне о. Диксон.

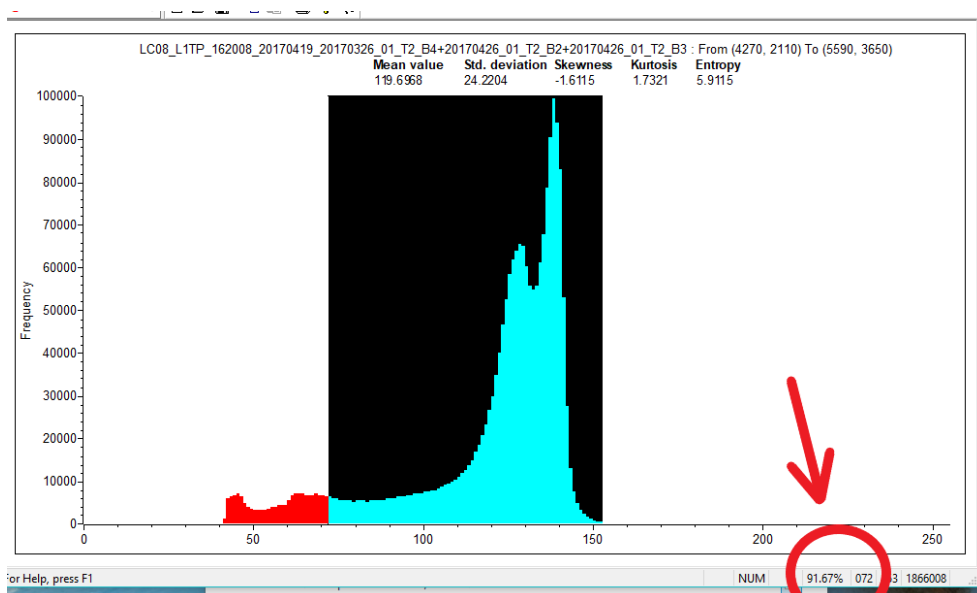


Рисунок 41 – определение сплоченности

Следующая процедура использована для оценки пространственной неоднородности льда в прибрежной зоне от берега до чистой воды.

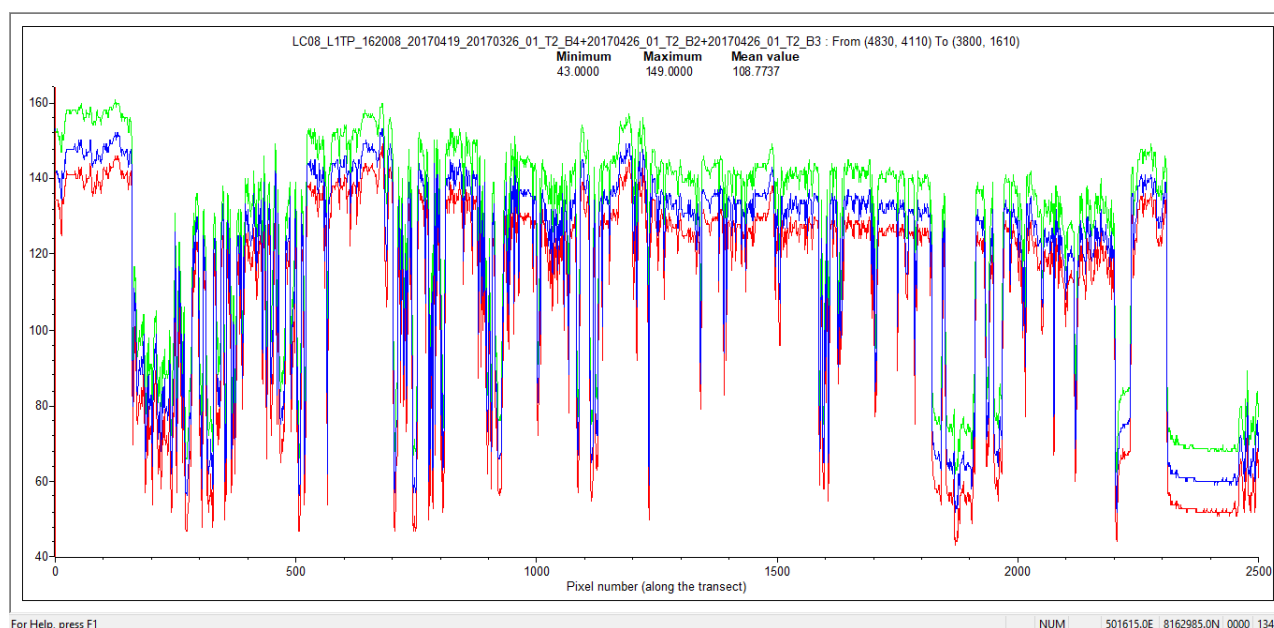


Рисунок 42 – Неоднородность льда

Максимальные значения на графике указывают на присутствие либо чистого льда, либо льда, покрытого снегом, а минимальные – указывают на наличие чистой воды или тонкого льда.

Верификация предложенного метода на примере ближайших дат.

Для иллюстрации актуальности проделанной работы проведено сравнение снимков спутника Landsat-8 (рисунок 42, 43) за последние даты, имеющиеся в свободном доступе на сайте <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Первый снимок (рисунок 43) от 3 июня 2018 года, и на нём можно наблюдать наличие дрейфующих льдов в прибрежной зоне о. Диксон. Воспользовавшись ресурсом <https://www.wunderground.com> для анализа ветра (рисунок 44) на побережье Карского моря о. Диксон, была определена его скорость 03.06.2018 в среднем примерно 34 км/ч или 9 м/с (5 баллов; «от умеренного до сильного»). В течение суток преобладал ветер северо-северо-восточного направления. За 4 июня 2018 г. снимок отсутствует, но данные о ветре указывают, что его направление не менялось. Поэтому на снимке от 5 июня (рисунок 45) наблюдается отжимной дрейф льдов у о. Диксон и улучшение ледовой обстановки, в том числе снижение нагрузки на сооружения в береговой зоне. Стрелками указаны состояние расположение льдов у прибрежной зоны.

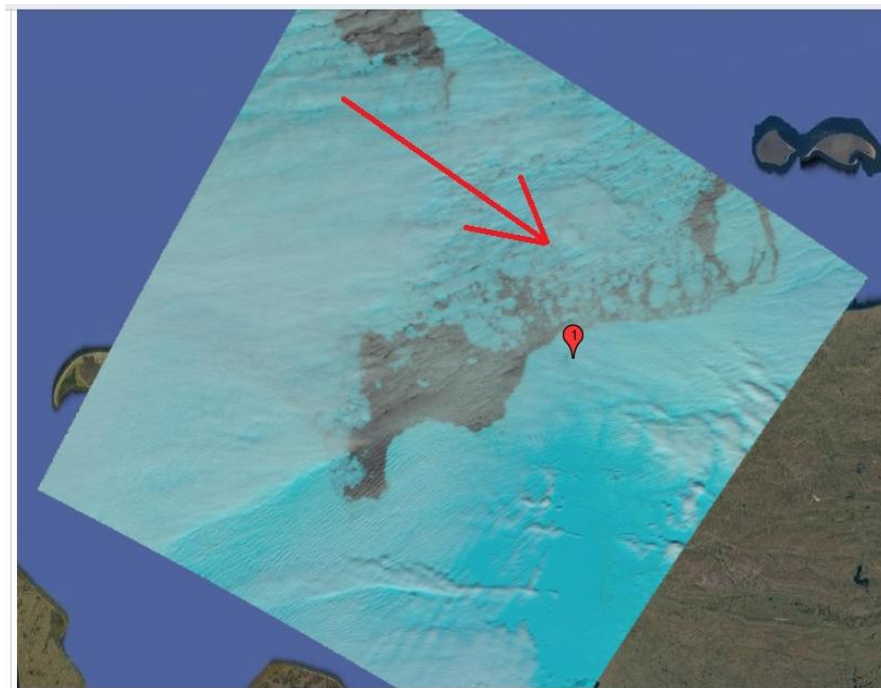


Рисунок 43 – снимок Landsat-8. 03.06.2018

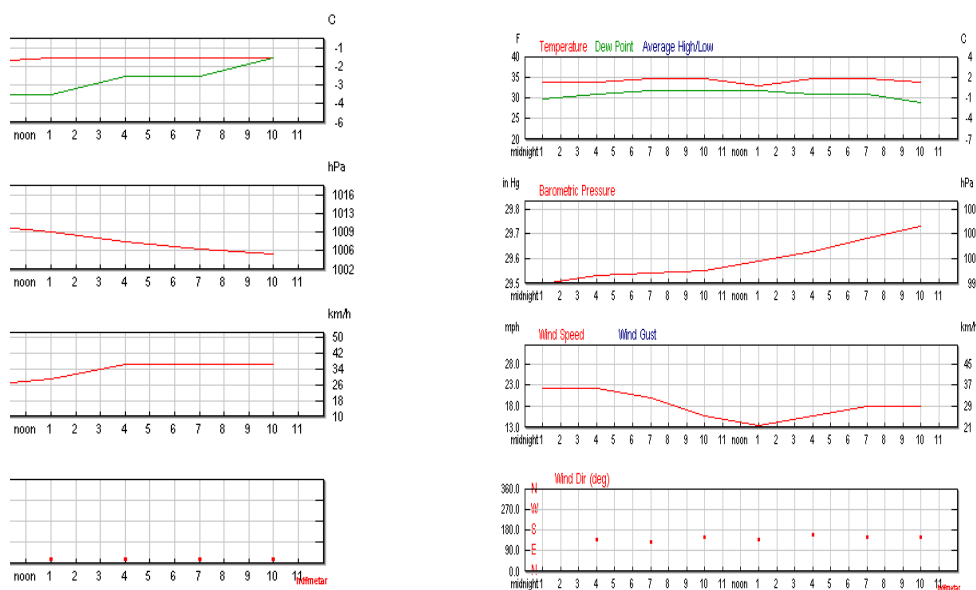


Рисунок 44 – Графики метеорологических характеристик

04.06. – 05.06.2018

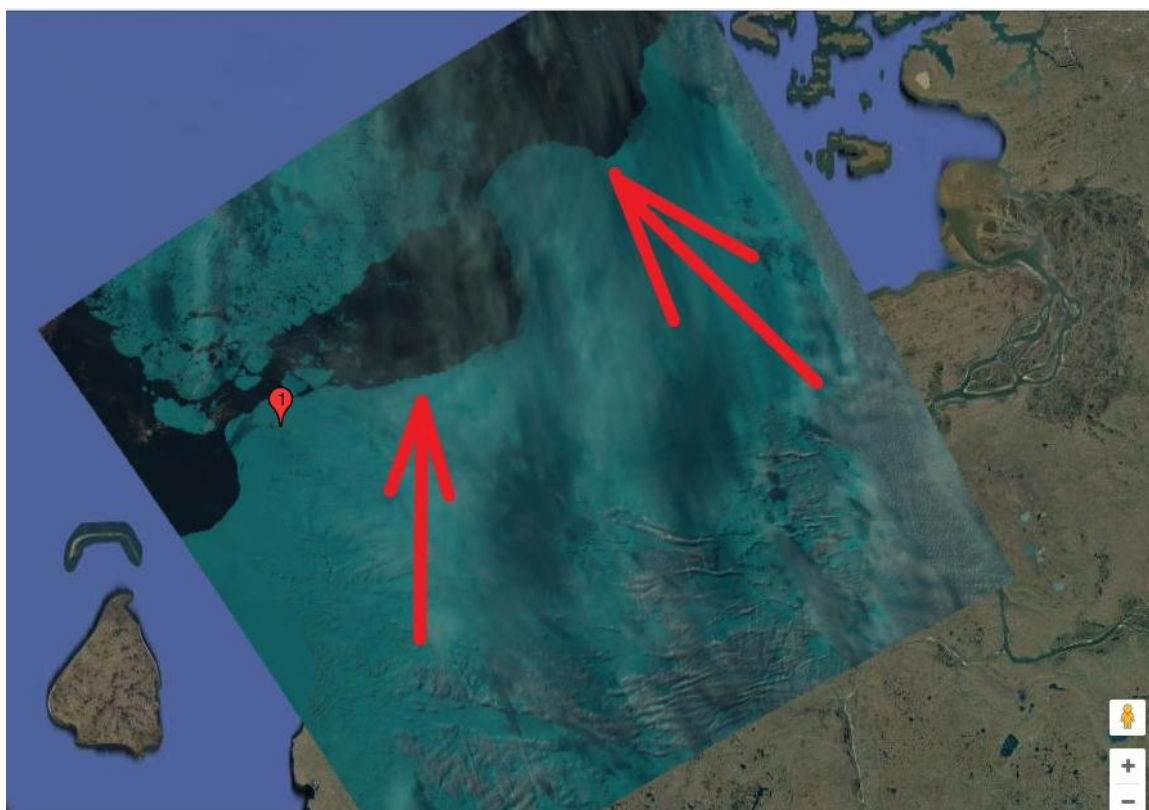


Рисунок 45 – Снимок Landsat-8. 05.06.2018

Выводы

Метод распознавания льдов в Арктики в навигационный период позволяет получить более точную и оперативную информацию о положении льдов и отслеживать их особенности в различных частях арктического региона с помощью спутниковой информации в дополнение к ледовым картам. Исключительное влияние на продолжительность навигационного периода оказывает, толщина, площадь и характеристики дрейфа льда. Важность использования средств дистанционного зондирования для навигации обусловлена повышающейся с каждым годом потребностью в транспортном сообщении.

Для оценки ледовой ситуации в прибрежной зоне районе о. Диксон в весенний период, по данным снимков спутников Landsat и Sentinel, были построены профили и рассчитано расстояние между льдинами, что дало представление о размерах дрейфующего льда и планирования более ранней навигации.

Чтобы показать различия между использованием разных спутников, примерно в то же время рассматривались снимки спутника Landsat-8.

По построенным разрезам была рассчитана его сплоченность. На основании информации из гистограммы была рассчитана площадь выбранной льдины, что позволило получить реальное представление об исследуемом районе и возможных рисках при планировании навигации. На примере расчета площади, которая составила почти 137 км^2 , с толщиной льда в 2 метра, в весовом эквиваленте имея вес приблизительно 2500 тонн, можно только представить какими могут быть последствия столкновения такой льдины с грузовым судном, транспортирующим горюче-смазочные материалы. Последствия для экологии и экономики обернулись бы катастрофой. Поэтому мониторинг за дрейфующими льдами и отслеживание их размеров на СМП должен проходить надлежащим образом.

Для оценки ледовой обстановки были рассмотрены снимки в разные месяцы, выявлены и рекомендованы периоды для ледовых трасс к порту о. Диксон. В связи с быстрыми изменениями арктического климата и режима движения льдов под воздействием течений и ветра различных направлений, ожидается увеличение навигационного периода с каждым годом. Не меньше этому способствует и ежегодное снижение площади льдов. Таким образом, проанализировав данные ADS с 1980 год по настоящее время, было выявлено, что с каждым годом освобождение ото льдов происходит уже в апреле, это доказывает полученная мною сплоченность льдов за апрель 2017 года, которая равняется 92 %, тем временем навигация СМП начинается не раньше июня.

Благодаря изучению метеорологических характеристик, особенно данных о ветре описана методика распознавания разреженных льдов при ветре от берега, когда между береговым припаем и дрейфующими льдами образуются разводья. При нажимном дрейфе, при ветре противоположных направлений, где образуются области сплоченных льдов, на которых нередко появляются торосы. Так благодаря анализу было установлено, что отслеживание ветра на ближайшие дни, помогает отследить направление дрейфующих льдов, что позволит выстраивать маршрут по СМП минуя возможные риски столкновения.

При использовании последовательности снимков можно определить направление дрейфа льда, а зная метеорологические характеристики, можно составить комплексную оценку, дополняющую данные ледовых карт более детальными характеристиками.

Заключение

Были рассмотрены основные характеристики спутников Landsat-8 и Sentinel-2, а также основные характеристики установленного на них оборудования: тепловизора OLI и теплового инфракрасного датчика TIRS, выделены преимущества и недостатки данных спутниковых систем для реализации поставленных целей.

Дана сравнительная характеристика получаемых данных, с приборов Landsat 8 и Sentinel 2. По характеристикам данных Sentinel-2 имеет преимущество из-за дополнительных каналов и их лучшего пространственного разрешения. Качество изображений Sentinel-2 с пространственным разрешением от 10 м до 100 м удовлетворяет решению поставленной в работе задачи, однако данные Landsat-8, имеющие более длинный период наблюдений, могут использоваться для детального анализа ледовой обстановки в высоких широтах.

Данные Landsat-8 с 720-730 сцен в сутки размером $190 \times 180 \text{ км}^2$ и Sentinel-2 (150-200 сцен в сутки) размером $290 \times 300 \text{ км}^2$, поставляют информацию о поверхности Земли в $24,8 \text{ млн км}^2$. [31] Таким образом, Sentinel-2 превосходит Landsat-8 по точности съёмки, но данные Landsat-8 имеют более длинный ряд наблюдений, поэтому в данной работе использована информация обоих спутников.

Результаты обработки спутниковых изображений Landsat и сравнительная оценка с данными Sentinel показала, что информация о направлении движения льдов на снимках является достаточно точной, но фиксируются территории, не покрытые льдом. Таким образом, совмещение данных о характеристиках льда по снимкам Landsat и Sentinel позволяет повысить точность получаемой информации и облегчить её обработку. Интегральные оценки изменения положения льдов в арктических морях в навигационный период свидетельствуют о возможностях получить точную и оперативную информацию о положении льдов, воспроизводить ключевые

особенности навигационного периода в различных частях арктического региона с помощью спутниковой информации.

Исключительное влияние на продолжительность навигационного периода оказывает толщина и положение ледового покрова. Важность навигации и использования средств дистанционного зондирования обусловлена повышающейся с каждым годом потребностью в транспортном сообщении. В связи с быстрыми изменениями арктического климата и режима движения льдов под воздействием течений и ветра различных направлений, ожидается увеличение навигационного периода с каждым годом. Современные спутниковые системы позволяют регистрировать всё чаще повторяющиеся опасные явления быстрого движения льдов. Это связано с усилением приповерхностного ветра и морских течений.

Средство распознавания льдов в Арктике, изменяющийся климат и постоянный мониторинг местностей в ближайшее время позволил бы серьёзно задуматься об увеличении продолжительности навигационного периода. Прделанная работа для получения более точной информации с помощью спутниковой информации о положении льдов, отслеживание их особенностей в различных частях арктического региона с помощью для дополнения данных ледовых карт с более детальными исследованиями. Исключительное влияние на продолжительность навигационного периода оказывает, толщина, площадь и характеристики дрейфа льда. Важность использования средств дистанционного зондирования для навигации обусловлена повышающейся с каждым годом потребностью в транспортном сообщении.

Относительно выбора района следует отметить, что о. Диксон — это сеть полярных станций, геофизическая обсерватория, порт Северного морского пути, штаб морских операций, сеть береговых аэродромов, клубы полярников, охотничьи зимовки, рыбзавод, художественная галерея, но последние годы только в краеведческих книгах, подшивках газеты «Советская Арктика» и памяти людей, которые приезжали обживать неприветливый Крайний Север.

Погранзастава, неотапливаемый аэропорт, гидрометеостанция, котельная, дизельная, школа, администрация, библиотека и несколько магазинов — все, что осталось сегодня. И одной из причин является труднодоступность морского транспорта для налаживания внутренней экономики острова. [32]

Список использованных источников

[1] Статья « Космический мониторинг земли: вчера, сегодня, завтра» за 09.02.2018. Автор - Б.А. Дворкин, кандидат географических наук, главный аналитик компании «Совзонд». ISSN 2410-6879. Дата обращения 14 апреля 2018 года.

[2] <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/> - свободный. Дата обращения 21 апреля 2018 года.

[3] <http://www.gmes.info/> - свободный. Дата обращения 14 мая 2018 года.

[4] http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=152&table=news – свободный. Дата обращения 15 мая 2014.

[5] <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/> - свободный. Дата обращения 15 мая 2018 года.

[6] Данные программы Landsat 8 (LDCM). [Электронный ресурс]/ - Электронные текстовые данные.- Скан Экс – инженерно- технологический центр, 2015год. Режим доступа: <http://www.scanex.ru/ru/data/default.asp?submenu=landsat8&id=index>, свободный.

[7] <https://eros.usgs.gov/sentinel-2> - свободный. Дата обращения 30 апреля 2018 года.

[8] <https://landsat.usgs.gov/spectral-characteristics-viewer> Сравнительный график спектральных характеристик различных спутников. Режим доступа – свободный. Дата обращения 8 мая 2018 года.

[9] Бушуев А.В., Лоцилов В.С., Григорьев А.В. Щербаков Ю.А. (2009). Развитие методики и алгоритма классификации морских льдов по толщине на спутниковых ИК изображениях // Институт космических исследований.

Сборник научных статей. Вып. 6. Т.1. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. С. 327—338

[10] *Александров В.Ю., Волков В.А., Сандвен С., Бабицер М., Клостер К.* (2008). Обнаружение арктических айсбергов по спутниковым изображениям мвидимого диапазона высокого разрешения // Исслед. Земли из космоса. №3, С. 44—55.

[11] *Богомолов Л.А.* Дешифрирование аэроснимков. — М.: «Недра», 1976. — 145 с..

[12] *Сычѳв В.И.* Практическое использование спутниковых изображений по результатам дистанционного зондирования Земли из Космоса. Ч.4. Введение в анализ спутниковых данных с помощью интегрированной системы анализа спутниковых изображений ЮНЕСКО БИЛКО. – Майкоп: ИП Кучеренко В.О. – 2016г

[13] *Даркин Д.В., Митник Л.М. Митник Л.М.* (2008) Спектры коэффициентов излучения в микроволновом диапазоне по данным измерений // Исслед. Земли из космоса №1, С. 3—14

[14] *Легеньков А.П.* (1998). Подвижки и приливные деформации дрейфующего льда. Л.: Гидрометеиздат. 104 с.

[15] *Александров В.Ю., Лоцилов В.С., Проворкин А.В.* (1996). Исследование айсбергов и морских льдов в Антарктике по данным РСА спутника «Алмаз-1» // Айсберги Мирового океана / Под ред. И. К. Попова, В. А. Воеводина . СПб.: Гидрометеиздат. С. 30 — 35.

[16] *Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М.,* 2010. Изменения климата Арктики и Антарктики — результат действия естественных причин, Проблемы Арктики и Антарктики, № 2 (85), с. 52—61.

[17] *Сычёв В.И.* Практическое использование спутниковых изображений по результатам дистанционного зондирования Земли из Космоса. Ч.4. Введение в анализ спутниковых данных с помощью интегрированной системы анализа спутниковых изображений ЮНЕСКО БИЛКО. – Майкоп: ИП Кучеренко В.О. – 2016.

[18] *Николаев Ю. В., Ковалев Е. Г.,* 1971. Возможность использования дискриминантного анализа для долгосрочного прогноза ледовитости арктических морей, Труды ААНИИ, т. 303, с. 61—71.

[19] *Борочаев, В.Е.* Льды Карского моря. СПб.: Гидрометиздат, 1998. 182
татья « Космический мониторинг земли: вчера, сегодня, завтра» за 09.02.2018.
Автор - Б.А. Дворкин, кандидат географических наук, главный аналитик
компании «Совзонд». ISSN 2410-6879.

[20] Статья редакционной коллегии информационного печатного издания
«Диксонский вестник» за 21 августа 2013 года, стр. 6., Электронный вариант на
www.dikson-taimyr.ru – свободный. Дата обращения 19 мая 2018 года.

[21] *Тихомиров И.К.* Гидрометеорологическая станция на острове
Диксона // Записки по гидрографии. – 1917. – Т.XLI. – Вып.1. – С. 129-144

[22] Какой климат в Арктике [электронный ресурс] – электрон. текстовые
дан.- режим доступа: URL <http://xn----8sbbmfaxaqb7dzafb4g.xn--p1ai/klimat-arktiki/> - свободный. Дата обращения 20 мая 2018 года.

[23] Региональные изменения климата. Вып. 4. Таймырский экорегион. –
ООО Изд-во «Русский университет». – 219 с.

[24] Ледяные образования морей западной арктики: Монография/ Зубакин
Г.К. – СПб : ААНИИ, 2006. 272 с.

[25] *Карклин В.П.* Квазидвухлетние влияния в изменениях ледовитости
арктических морей // Труды ААНИИ. 1976. Т. 341. С. 119–142

[26] *Алексеев Г.В., Заблотский Г.А., Махитас А.П.* О постановке наблюдений за потоками тепла и влаги, таянии и нарастании льда на поверхности разводьев и молодых льдов в Арктическом бассейне. Л.: Гидрометиздат, 2004. С. 143-147.

[27] <http://www.mapm.ru/Port/Dikson> – свободный. Дата обращения 22 мая 2018 года.

[28] <https://www.innoros.ru/news/tags/ntsds1> – свободный. Дата обращения 22 мая 2018 года.

[29] *Горбунов Ю.А., Карелин И.Д., Лосев С.М.* (2007). К вопросу о причинах нарушения сплоченности морского ледяного покрова в зимний период // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 62. С.111—116

[30] *Гудкович З.М., Доронин Ю.П.* (2001). Дрейф морских льдов. СПб.: Гидрометеиздат. 110 с.

[31] <http://blog.imagico.de/landsat-vs-sentinel-2-the-overall-tally/> «Landsat против Sentinel 2 - Общий подсчет», Дата обращения 01.06.2018

[32] *Осипова О.* «Bird In Flight.» Интернет-журнал о фотоиндустрии. (2018) «На краю снега: Как живёт самый северный посёлок России». Статья от 15 марта 2017 года. <https://birdinflight.com/ru/vdohnovenie/fotoproect/20170315-dikson-na-krayu-snega>. Дата обращения 12.04.2018