



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕ-
СКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морские информационные системы
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему Разработка методики предоставления информации для навигационно-
го обеспечения трассы СМП

Исполнитель Лукин Сергей Александрович

(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

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ	5
1.1 Оценка значимости спутниковых данных для информационного обеспечения разведки местности.....	5
1.2 ОПИСАНИЕ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS СПУТНИКА TERRA	8
1.3 ОПИСАНИЕ РАДИОМЕТРА AMSR2 СПУТНИКА GCOM-W1	11
Вывод.....	13
2 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АРКТИКЕ	14
2.1 Организация доступа к данным по средствам WORLDVIEW	14
2.2 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОГРАММЕ SCANMAGIC.....	18
2.3 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОГРАММЕ UNESCO BILKO.....	23
2.4 ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ЛЕДОВЫМ КАРТАМ ААНИИ.....	26
Вывод.....	29
3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАССЫ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ	30
3.1 ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ TERRA/MODIS	31
3.2. ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ AMSR2.....	39
3.3 ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАССЫ СМП.....	44
Вывод.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня актуальность перевозки грузов через Северный морской путь (СМП) достаточно велика. Данная трасса является наикратчайшим водным маршрутом, связывающим восток и запад Российской Федерации, а так же Европу и страны юго-восточной Азии. Главной альтернативой СМП является проход через Суэцкий канал (рисунок 1), но его основной минус - протяженность, маршрут через Суэцкий канал в два раза длиннее, чем через СМП (СМП - 14 тыс. км., а через Суэцкий канал - 23 тыс. км.).



Рисунок 1 - схематическое изображение Северного морского пути и маршрута через Суэцкий канал

Вследствие постепенного таяния арктических льдов [1] открывается новые пути, по которым возможно движения судов российского флота. Однако, необходимо помнить и о маршрутах, которые были открыты и использовались за десятилетия до настоящего времени. Одним из таких маршрутов является проход через пролив Дмитрия Лаптева, где проходила знаменитая экспедиция ГЭСЛО в 1912г. Даже сегодня по этому пути осуществляется грузоперевозка между городами Тикси и Певек, которая не может производиться по суше, вследствие сложной географии местности и суровых климатических условий. И чем раньше может начаться навигация в этой области, тем меньшими могут

стать экономические потери, так как обход по суши будет занимать больший промежуток времени, в отличие от транспортного пути через пролив Дмитрия Лаптева. Данный аспект послужил основой для выбора задачи данного проекта.

Актуальность проекта:

- необходимость информационного обеспечения при оценке ледовой обстановки для навигации на основе данных спутниковых оптических приборов и уточнение их с помощью пассивных радиометров.

Объект исследования – пролив Дмитрия Лаптева

Предмет исследования – данные оптических и пассивных микроволновых радиометров для уточнения ледовой обстановки.

Целью проекта:

- определение ледовой обстановки по данным оптических и пассивных микроволновых радиометров для трассы СМП.

Задачами проекта:

- произвести анализ спутниковых систем, данные которых будут использоваться в работе;
- определить способы обработки и преобразования спутниковых данных;
- оценить ледовую обстановку для показаний оптических радиометров и дополнить их данными пассивных микроволновых приборов;
- разработать последовательность получения информации для пользователя.

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

1.1 Оценка значимости спутниковых данных для информационного обеспечения разведки местности

В настоящее время на орбите находится большая группа специализированных спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с научной аппаратурой на борту, работающей в разных диапазонах электромагнитного спектра (рисунок 2). Активные и пассивные датчики, установленные на этих аппаратах способны обрабатывать данные в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра.

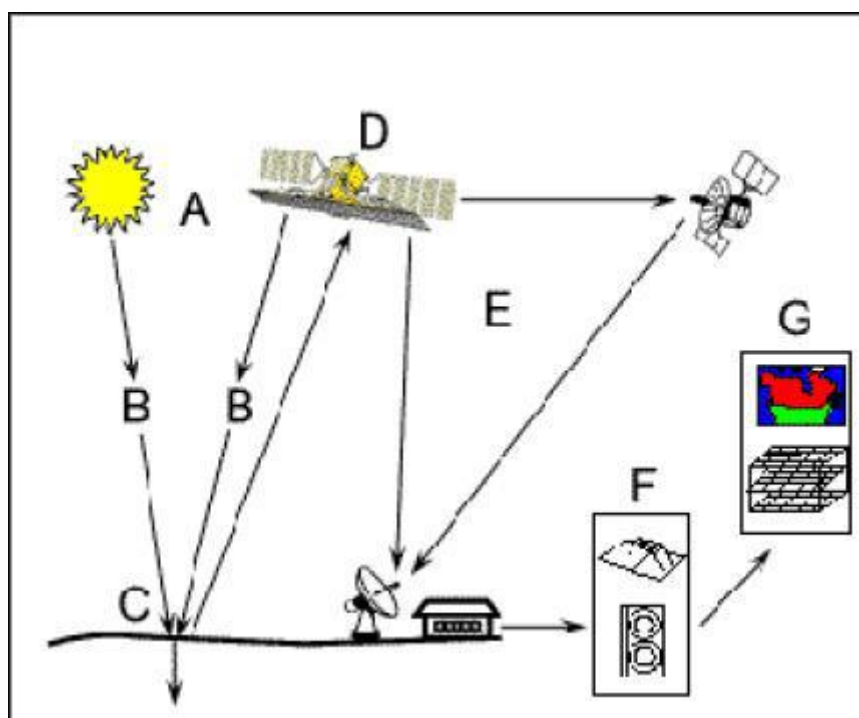


Рисунок 2 - Общий принцип работы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Точность и разрешение современных инструментов зондирования поверхности Земли постоянно растет, и в то же время расширяется набор параметров, характеризующих состояние океанов и морей, которые можно измерить из космоса.

В настоящее время радиолокационное (РЛ) зондирование, которое осуществляется в микроволновом диапазоне, является одним из основных методов дистанционного исследования как океанских процессов, так и процессов взаимодействия океана с атмосферой.

С точки зрения океанографической информации о мгновенном состоянии океана океанические радарные изображения из космоса предоставляют широкие возможности:

- 24-часовая работа в активном режиме, при сохранении качества изображения независимо от времени суток;
- проведение съемок независимо от погодных условий, так как атмосфера почти прозрачна для микроволнового излучения, используемого в радаре;
- рассмотрение изменения рассеянного сигнала в качестве геометрических параметров возмущений, облегчающих интерпретацию радиолокационных изображений (РЛИ);
- осуществление сбора современных радиолокационных спутниковых изображений с высоким пространственным разрешением (до единиц метров) в широком поле обзора [2].

Активное дистанционное зондирование поверхности Земли основано на измерении рассеянного излучения.

При использовании радиолокационной излучателя в дистанционном зондировании океана информация по параметрам подстилающей поверхности представляет собой отраженную волну, которая принимается специальной антенной в виде электромагнитной волны. Функция отражения определяется не только свойствами объекта, но и условиями его формирования, то есть системой испускаемых и принимаемых сигналов. Радиолокационное изображение поверхности моря зависит от диапазона испытаний, поляризации излучения и угла падения зондирующего луча.

Характеристиками излучающего устройства являются:

- длина волны λ ;

- частота f , $f = C/\lambda$, где C - скорость распространения электромагнитных волн в середине (в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с);
- волновой вектор, который указывает направление распространения волны;
- поляризация электромагнитной волны - так как от положения плоскости поляризации к отражающей поверхности зависит коэффициент отражения волны.

Для изучения океана используются радары с длиной волны от 1,11 см (частота $f = 27$ ГГц) до 30 см (частота $f = 1$ ГГц). Обычно они работают в импульсном режиме, но в некоторых случаях используется непрерывное излучение [3].

На практике радиолокационного зондирования Земли используются сигналы с различной поляризацией (горизонтальный, вертикальный или перекрестный с разнообразными комбинациями горизонтальной и вертикальной поляризации). Плоскость, проходящая через направления распространения электромагнитной волны и вектора электрического поля, называется плоскостью поляризации.

В зависимости от конструктивных особенностей и режима работы РЛС приёмопередающие системы могут осуществлять излучение и приём в форме:

- вертикальной поляризации (ВВ);
- горизонтальной поляризации (ГГ);
- перекрестной поляризации (ВГ и ГВ).

Мощность обратного рассеянного сигнала, поступающего в приемную антенну радара, зависит от поляризации излучения и взаимного направления поляризации во время излучения и приема. Коэффициент дисперсии водной поверхности при вертикальной поляризации больше, чем при горизонтальной и перекрестной поляризациях.

Вертикальная поляризация используется для изучения широкого спектра процессов и явлений, которые появляются на поверхности моря при помощи

модуляции гравитационно-капиллярной составляющей спектра поверхностного волнения.

Горизонтальная поляризация менее чувствительна к мелкомасштабным вариациям шероховатости морской поверхности. Она широко используется для наблюдения за кромкой льда и ледяными полями.

Перекрестная поляризация используются для выделения на поверхности моря объектов, вызывающих множественную дисперсию, таких как, корабли и деформации ледяного слоя (торосы, трещины, рубленый лед) [4].

1.2 Описание спектрорадиометра Modis спутника Terra

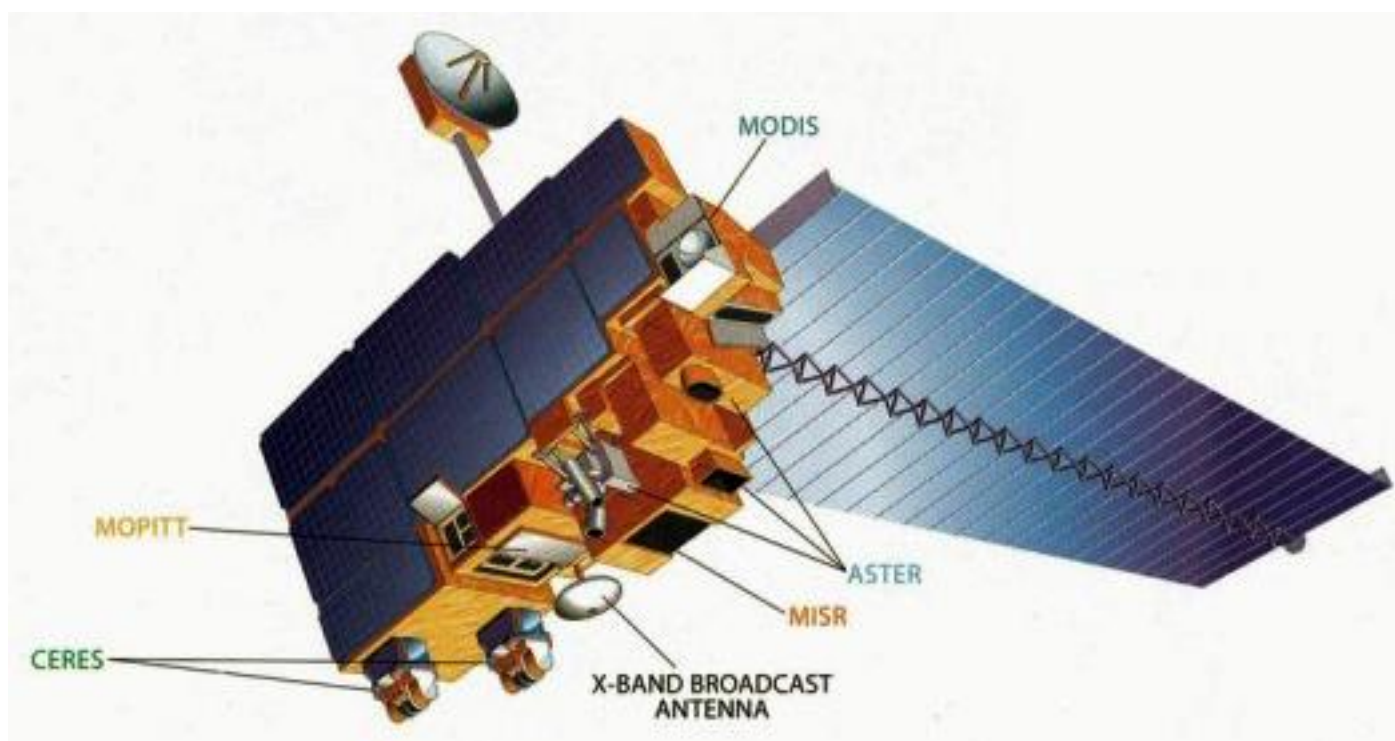


Рисунок 3 - Основные модули спутника Terra

Американский действующий спутник Terra с модулем Modis: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения) на борту (рисунок 3), запущенные 18 декабря 1999 г., находится на солнечно-синхронной орбите на высоте 704 км. Оператором является NASA (США). Основные характеристики блока Modis представлены в таблице 1.

Основные характеристики и области применения данных прибора Modis представлены в таблице 2.

Таблица 1 - Основные характеристики радиометра Modis

ХАРАКТЕРИСТИКА	MODIS
Количество спектральных каналов	36
Пространственное разрешение, м	250-1000
Радиометрическое разрешение, бит/кан	12
Обзорность (ширина полосы съемки), км	2330

Таблица 2 - Основные характеристики и область применения Modis

Основной предмет изучения	№ канала	Пространственное разрешение, м	Спектральный диапазон	Спектральный диапазон, мкм
Границы суши, облачности, аэрозолей	1	250	Видимый (красный)	0.620 - 0.670
	2	250	NIR (ближний инфракрасный)	0.841 - 0.876
Свойства объектов суши, облаков и аэрозолей	3	500	Видимый (синий)	0.459 - 0.479
	4	500	Видимый (зеленый)	0.545 - 0.565
	5	500	NIR (ближний инфракрасный)	1.230 - 1.250
	6	500	MIR (средний инфракрасный)	1.628 - 1.652
	7	500		2.105 - 2.155
Цвет океанической воды, содержание фитопланктона, биогеохимические характеристики	8	1000	Видимый (фиолетовый)	0.405 - 0.420
	9	1000	Видимый (синий)	0.438 - 0.448
	10	1000		0.483 - 0.493
	11	1000	Видимый (зеленый)	0.526 - 0.536
	12	1000		0.546 - 0.556
	13	1000	Видимый (красный)	0.662 - 0.672
	14	1000		0.673 - 0.683
	15	1000	NIR (ближний инфракрасный)	0.743 - 0.753
	16	1000		0.862 - 0.877
	17	1000		0.890 - 0.920
Водяной пар в атмосфере	18	1000		0.931 - 0.941
	19	1000		0.915 - 0.965
	20	1000		3.660 - 3.840
Температура земной поверхности и облаков	21	1000		3.929 - 3.989
	22	1000		3.929 - 3.989
	23	1000		4.020 - 4.080
	24	1000		4.433 - 4.498
Температура атмосферы	25	1000	TIR (тепловой инфракрасный)	4.482 - 4.549
	26	1000		1.360 - 1.390
	27	1000		6.535 - 6.895
	28	1000		7.175 - 7.475
Свойства облаков	29	1000		8.400 - 8.700
Озоновый слой	30	1000		9.580 - 9.880
Температура земной поверхности и облаков	31	1000		10.780 - 11.280
	32	1000		11.770 - 12.270
Верхняя граница облаков	33	1000		13.185 - 13.485
	34	1000		13.485 - 13.785
	35	1000		13.785 - 14.085
	36	1000		14.085 - 14.385

Благодаря широкому обзору полосы съемки 2330 км, прибор Modis позволяет регистрировать элементы поверхности ежедневно, а в высоких широтах (более 60° с. ш.) несколько раз в сутки. Причем для видимого и ближнего ИК диапазонов регистрация производится в 20 каналах, а в тепловом ИК диапазоне в 16 каналах. Таким образом, Modis отслеживает более широкий набор жизненно важных признаков Земли, чем любой другой датчик Terra. Например, почти каждый день датчик измеряет процент поверхности покрытый облаками. Это широкое пространственное покрытие позволяет Modis вместе с MISR и CERES помочь ученым определить влияние облаков и аэрозолей на энергетический состояние Земли [5].

Кроме регистрации частоты и распределения облачного покрова, Modis измеряет свойства облаков, такие как распределение и размер облачных капель в местах повышенной влажности и низкой температуры.

Modis измеряются свойства аэрозолей - крошечных жидких или твердых частиц в атмосфере. Аэрозоли попадают в атмосферу из искусственных источников, таких как загрязнение и сжигание биомассы, а также природных источников - пылевых бурь, извержений вулканов и лесных пожаров.

Modis помогает ученым определять количество водяного пара в столбе атмосферы и вертикальное распределение температур имеющее решающее значение для понимания о климатической системе Земли.

Modis идеально подходит для мониторинга крупномасштабных изменений в биосфере, которые дают новое представление о работе глобального углеродного цикла.

Modis измеряет фотосинтетическую активность наземных и морских растений (фитопланктон), чтобы оценивать количество абсорбции парниковых газов, производимых растениями. В сочетании с измерениями температуры поверхности, датчик измерения Modis помогает ученым отслеживать в процессе климатических изменений в биосфере источники и поглотители углекислого газа.

Почти каждый день по всему земному шару датчик отслеживает изменения на поверхности земли, тем самым создавая и расширяя данные, получаемые проектом Landsat. Modis отображает ареал снега и льда, вызванный зимними штормами и холодными температурами. Сенсор наблюдает за «зеленой волной», проходящий по континенту после отступления зимнего периода. Он сигнализирует, где и когда наступают стихийные бедствия, где происходят извержения вулканов, наводнения, сильные штормы, засухи и лесные пожары.

Спектральные каналы Modis особенно чувствительны к пожарам; они могут отличить пылающие очаги от тлеющих и оценить количество выбросов аэрозолей и газов в атмосферу.

Modis способен сигнализировать об изменениях в популяциях фитопланктона Тихого океана, которые, в свою очередь, спрогнозировали о начале известных климатических изменений Эль-Ниньо (El Niño)/ Ла-Нинья (La Niña) задолго до их начала. Благодаря сочетанию температуры морской поверхности и измерений цвета океана, Modis отобразил воздействия Эль-Ниньо и Ла-Нинья на микроскопический морской мир флоры и фауны.

Modis имеет уникальный канал для измерения флуоресценции хлорофилла. Все растения, облученные светом, начинают светиться или флуоресцировать, но в длинах волн, которые наши глаза не видят. Чем больше растений флуоресцирует, тем меньше энергии они используют для фотосинтеза. Таким образом, Modis не только отображает распределение фитопланктона, но и помогает нам оценить его здоровье [6].

1.3 Описание радиометра AMSR2 спутника GCOM-W1

Японский спутник дистанционного зондирования Земли, запущенный 18 мая 2012 г., находится на околополярной солнечно - синхронной орбите. Основным инструментом сканирования аппарата является пассивный сканирующий радиометр AMSR2 (рисунок 4): Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр второго поколения).

AMSR2 предназначен для измерения параметров окружающей среды, необходимых для изучения круговорота воды в природе. Антенна, являющаяся на данный момент самой большой в мире, обеспечивает получение данных с высоким пространственным разрешением при сканировании в микроволновом диапазоне.



Рисунок 4 - Модули AMSR2 спутника GCOM-W1

Для стабильной работы радиометра AMSR2 необходима точная географическая привязка данных и их тщательная калибровка.

AMSR2 принимает излучение на 7 частотах $\nu = 6,9, 7,3, 18,7, 23,8, 36,5$ и $89,0$ ГГц на вертикальной (ВВ) и горизонтальной (ГГ) поляризациях и позволяет оценивать важнейшие характеристики энергетического и гидрологического циклов Земли, включая паросодержание атмосферы, водозапас облаков, интенсивность осадков, скорость приводного ветра, температуру поверхности океана (ТПО), параметры ледяного и снежного покрова и растительности [7].

AMSR2 представляет собой практически полный аналог своего предшественника AMSR-E на борту спутника Aqua, но с двумя новыми каналами на

частоте $\nu = 7,3$ ГГц, добавленными для снижения влияния искусственных помех на восстановление температуры поверхности океана и скорости приводного ветра. Антенна AMSR2 вращается со скоростью 40 оборотов в минуту и принимает излучение Земли под постоянным углом визирования 55° в полосе обзора шириной 1450 км, обеспечивая получение данных с разрешением от 35×62 км на $\nu = 6,9$ ГГц до 3×5 км на $\nu = 89,0$ ГГц (таблица 3).

Таблица 3 - Основные характеристики радиометра AMSR2

Частота, ГГц	6,925/7,3	10,65	18,7	23,8	36,5	89,0
Ширина полосы, МГц	350	100	200	400	1000	3000
Поляризация	Вертикальная и горизонтальная					
Чувствительность, К	<0,34/0,43	<0,70	<0,70	<0,60	<0,70	<1,2/1,4
Поле зрения, км × км	35×62	24×42	14×22	15×26	7×12	3×5
Интервал выборки, км	10					8

Вывод

Существуют разные спутниковые системы и данные получаемые с них. Некоторые космические аппараты подверглись поломкам и не могут выдавать информацию с точностью присущей им сразу после запуска. Снимки таких спутников не желательны для использования в информационном обеспечении труднодоступных районов, включая Арктический бассейн.

Вследствие проведенного анализа были выбраны наиболее подходящие спутниковые системы для дистанционного зондирования пролива Дмитрия Лаптева - **Terra/Modis** и **GCOM-W1/AMSR2**. Преимущество этих систем над другими является их частота обновления данных, которая доходит до трех раз в сутки, а так же огромный архив снимков за предыдущие годы, по которым и будет производится анализ в данной работе.

2 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АРКТИКЕ

2.1 Организация доступа к данным по средствам Worldview

Для начала работы со снимками используется ресурс Worldview. Worldview - сервис обеспечивающий возможность интерактивного просмотра глобальных изображений. Обновление изображения происходит каждые 3 часа. Такая частота позволяет обеспечивать полную информационную базу об интересующем нас районе. Для удобного доступа к информации об Арктике существует специальная функция, позволяющая взглянуть на эту территорию в на- дир.

Спутниковая информация для пользователей находится в свободном доступе. На рисунке 5 показано реальное положение выбранного спутника.

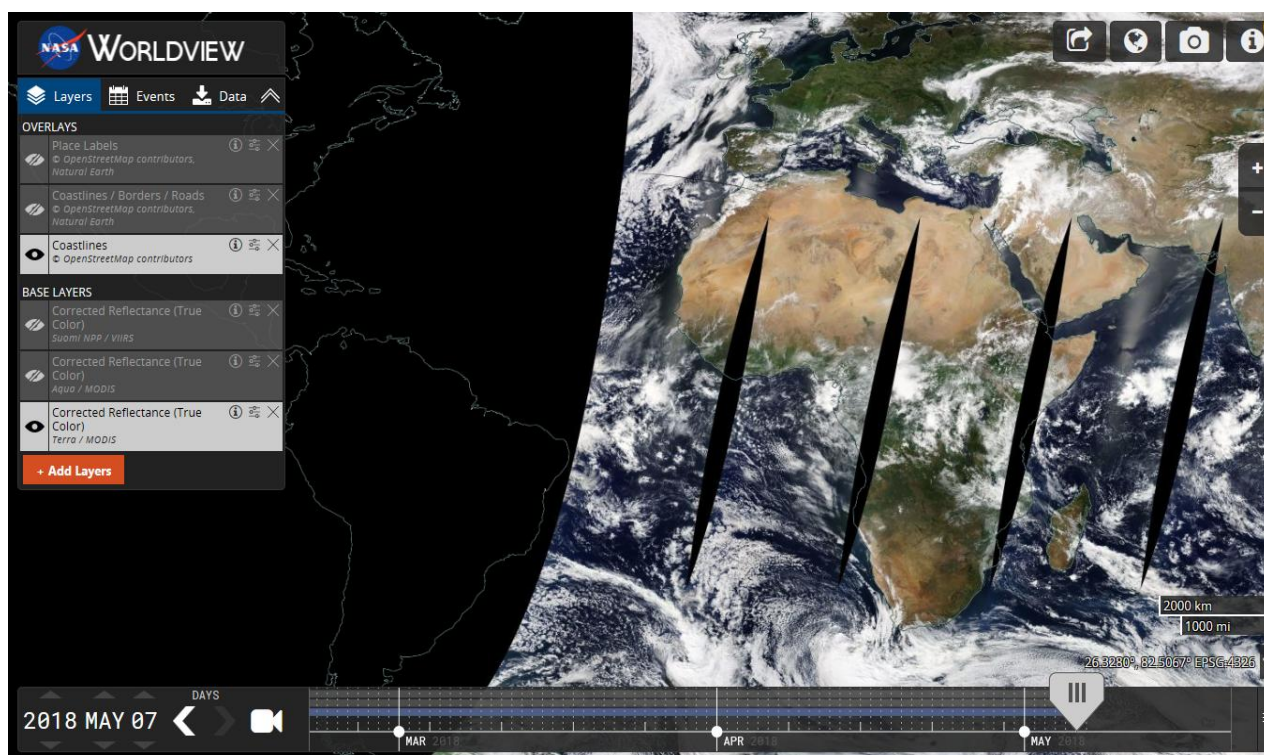


Рисунок 5 - Положение спутника Terra/Modis 07.06.2018 в 17:00

При помощи специального меню в левом верхнем углу, отображенного на рисунке 5, можно выбрать спутник, с которого будут передаваться изображения. Здесь можно добавить или убрать границы береговой зоны, географические подписи и границы государств. К представленным в меню слоям можно

добавить дополнительные, демонстрирующие определенные характеристики подстилающей поверхности.

Выбор нужного района происходит по средством перетаскивания зажатой клавишей мыши курсором на нужное место. В связи с тем, что область Арктики зачастую покрыта густой облачностью нужно искать изображения без облаков.

Это осуществляется с помощью специального бегунка, представленного на рисунке 5 снизу, либо с помощью выбора даты в интерактивном календаре.

По средствам выполнения этих действий мы находим изображения, где нужный нам участок не закрыт облаками (рисунок 6).

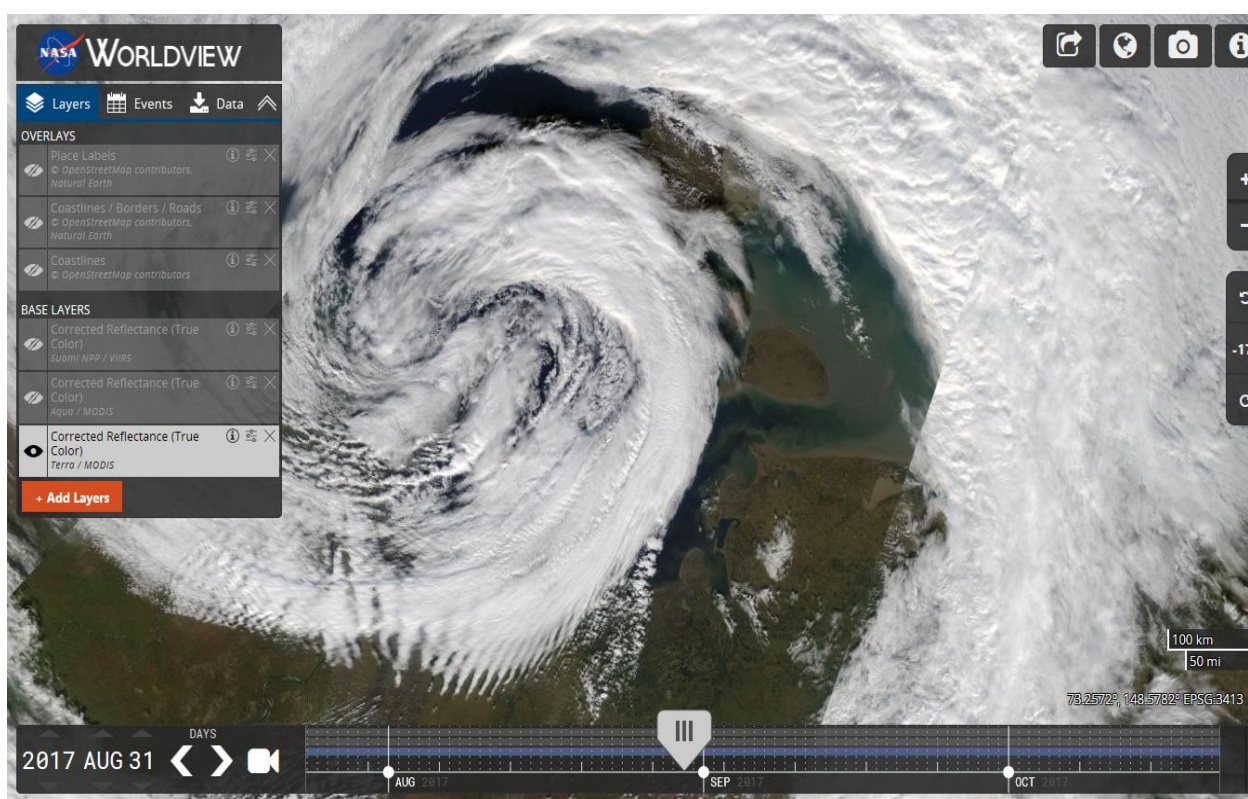


Рисунок 6 - Спутниковое изображение Новосибирского архипелага.

Terra/Modis. 31.09.2017г.

После выбора нужного малой концентрацией облачности производится скачивание его изображения на носитель. В процессе можно выбрать пространственное разрешение снимка (рисунок 7а), а также формат файла (рисунок 7б).

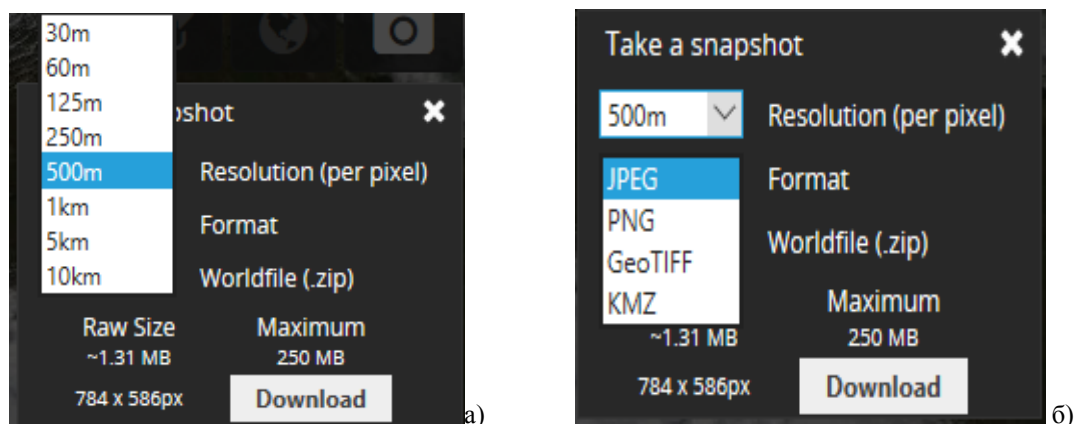


Рисунок 7 - Сохранение изображение на носитель с сайта Worldview (а) с выбором пространственного разрешения и (б) выбором формата файла.

Для более детального анализа зоны Арктики следует воспользоваться двумя видами комбинации каналов, которые позволяют проанализировать область с заснеженным и ледовым покровом:

Первый вариант комбинации - 7-2-1 представлен в таблице 4

Таблица 4- Первый вариант комбинации – 7-2-1

Номер канала	Длина волны, мкм	Пространственное разрешение в надире, м	Объект (предмет) исследования
7	2,105-2,155	500	Свойства облаков и земных объектов
2	0,841-0,876	250	Контуров облаков и земных объектов
1	0,62-0,67		

Такая комбинация позволяет максимально отделить снег и лед от облаков. Снег и лед отображаются в видимой части спектра (Канал 1) и поглощаются в каналах 2 (ближний инфракрасный диапазон) и 7 (коротковолновый ин-

фракрасный диапазон). В таком случае толстый лед и снег будут видны в ярких оттенках красного цвета, а облака будут белыми.

На изображениях в естественных цветах сложно разделить лед от облаков (рисунок 8а), но воспользовавшись данной комбинацией каналов можно увидеть, что то, что могло показаться нам льдом, на самом деле является облаками (рисунок 8б). На рисунке 8а лед сливается с облаками. На рисунке 8б хорошо видно их различие. Светло - голубым цветом отображается свежеснеживший снег, либо новообразованный лед. Такая цветовая палитра позволяет обнаружить отдельные льдины в период с незначительной облачностью. Сероватый цвет - облака [8].

Заметим, что данный сервер позволяет объединять каналы с разным пространственным разрешением (7 канал - 500 м, 1 и 2- 250 м), что значительно упрощает анализ интересующей нас территории [9].

В других программных продуктах таких, как UNESCO Bilko, пришлось бы вводить специальную формулу, с помощью которой изображение с пространственным разрешением растягивается до соответствия двум другим, с пространственным разрешением 250 м.

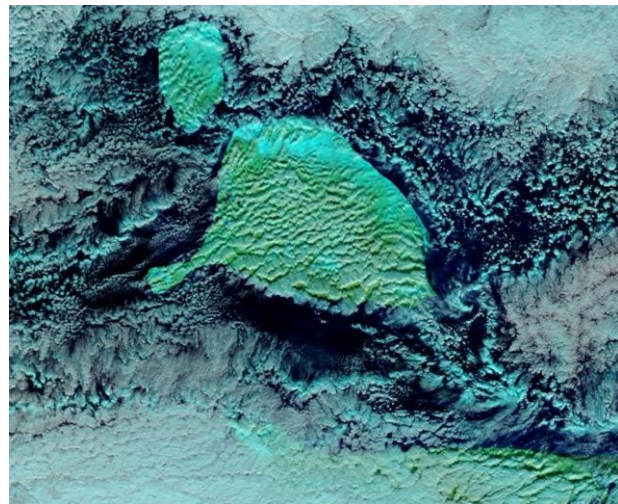
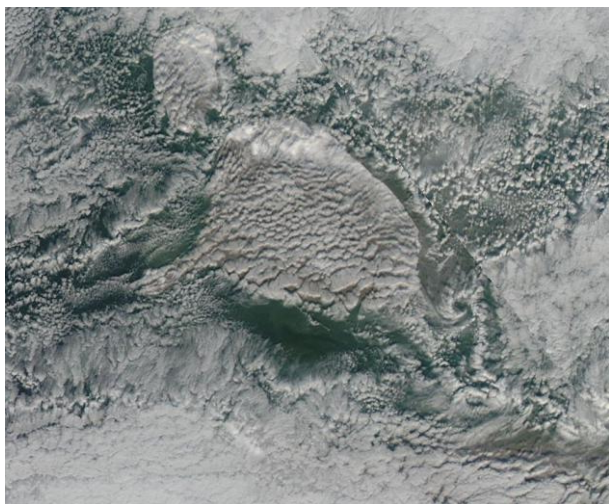


Рисунок 8 - Спутниковое изображение пролива Дмитрия Лаптева (а) в естественном и (б) в псевдоцветном виде. Terra/Modis. 17.09.2017 г.

Белый - облака, светло голубой - лед и снег, зеленый - суша

Второй вариант комбинации - 3-6-7 представлен в таблице 4

Такая комбинация каналов используется для отображения снега и льда. Снег и лед отображаются в видимом диапазоне (3 канал), и совершенно не

различимы в коротковолновом инфракрасном диапазоне (6 и 7 каналы). Такая комбинация позволяет хорошо отличить незамерзшую воду ото льда. И так как единственным каналом видимого диапазона является 3 (красный) канал, то весь лед будет представлен в красном и розовом цветах. Чем толще лед, тем более близким по цвету к розовому он будет (рисунок 9) [10].

Таблица 4 - Второй вариант комбинации - 3-6-7

Номер канала	Длина волны, мкм	Пространственное разрешение в надире, м	Объект (предмет) исследования
3	0,459 - 0,479	500	Свойства облаков и земных объектов
6	1,628 - 1652		
7	2,105 - 2,155		

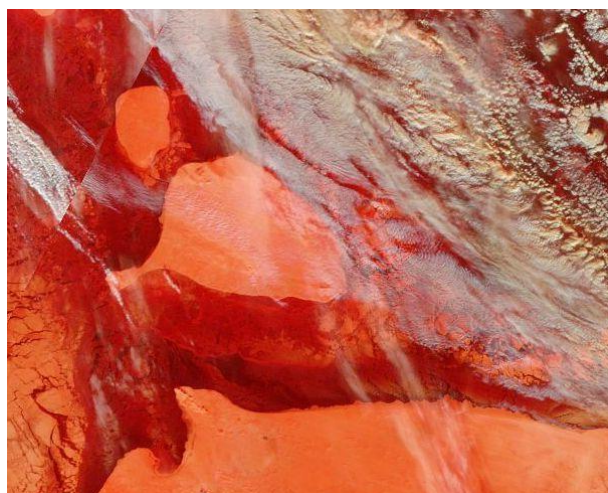


Рисунок 8 - Спутниковое изображения положения льда в проливе Дмитрия Лаптева. Terra/Modis в комбинации каналов 3-6-7 (а) 10.10.2017г. и (б) 12.10.2017 г. Белый - облака, розовый - снег и тонкий лед, красный - толстый лед, темно - красный - водная поверхность и лед сплоченностью менее 2 баллов

2.2 Общая информация о программе ScanMagic

Приложение ScanMagic [11] предназначено для просмотра, анализа и обработки изображений Земли из космоса. В большинстве случаев ScanMagic позволяет выполнить полный цикл работ по подготовке выходных продуктов дистанционного зондирования Земли без привлечения дополнительных программных средств.

ScanMagic позволяет производить следующие основные операции с изображениями:

- просмотр изображений с произвольным цветосинтезом, контрастированием и масштабированием;
- углубленный анализ изображения - построение профиля среза отсчетов яркости изображения; анализ отсчетов яркости изображения;
- вырезание из изображения фрагмента с исходным набором спектральных каналов в новое окно программы, с возможностью последующей его обработки в качестве нового изображения;
- конвертацию различных величин из одного представления в другое (единиц измерений), в том числе пересчет координат из одной картографической системы координат в другую;
- конвертацию векторных файлов из одного представления в другое с широким выбором параметров преобразования;
- привязку изображений:

- 1) географическую, в том числе по орбитальным элементам спутника;
- 2) картографическую;
- 3) коррекцию геопривязки методом подбора поправок к положению спутника на орбите и углам ориентации,
- 4) коррекцию с использованием опорных точек местности,
- 5) автоматическую привязку по технологиям "изображение к карте" и "изображение к изображению";

- импорт и наложение на изображение векторных карт; создание и редактирование векторных слоев; добавление сетки широт и долгот; сохранение набора слоев векторных контуров для произвольного количества снимков;

Для начала работы с программным продуктом ScanMagic необходимо загрузить соответствующие файлы из базы данных спутниковых снимков в фор-

мате ".hdf". Для этого необходимо пройти на сайт MODIS Subsets [12] и выбрать место съемки необходимое для обработки (рисунок 10).

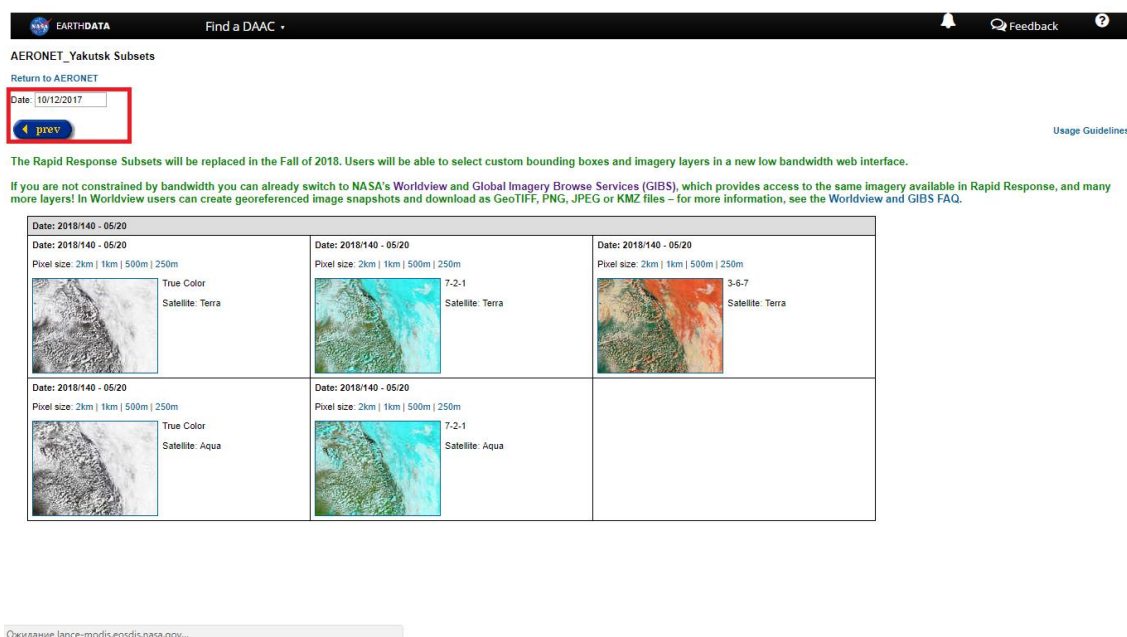


Рисунок 10 - Пример работы с сайтом MODIS Subsets

Для выбора нужной даты можно воспользоваться календарем, представленным на рисунке 10, в верхнем левом углу. Однако необходимо знать, что дата отображается в американском формате - сначала идет месяц, а потом день.

После установки даты выбираются спутниковые данные из представленных. Из таблицы, представленной на рисунке 10, мы можем выбрать один из двух представленных спутников. Верхняя строка - Терра, а нижняя - Aqua.

После выбора нужного изображения (рисунок 11), следует обратить внимание на данные, отображенные в верхнем левом углу. В базе данных дата определяется по Юлианскому календарю, нужный день рассчитывается из порядкового номера с начала года. То есть дата, 12 ноября, будет представлена в виде порядкового номера 285.

При скачивании данных с базы MODIS Subsets важно знать в какое время сделан снимок. Из представленного списка снимков, выбирается файл с интересующим временем. Процесс выбора файла представлен на рисунке 12.

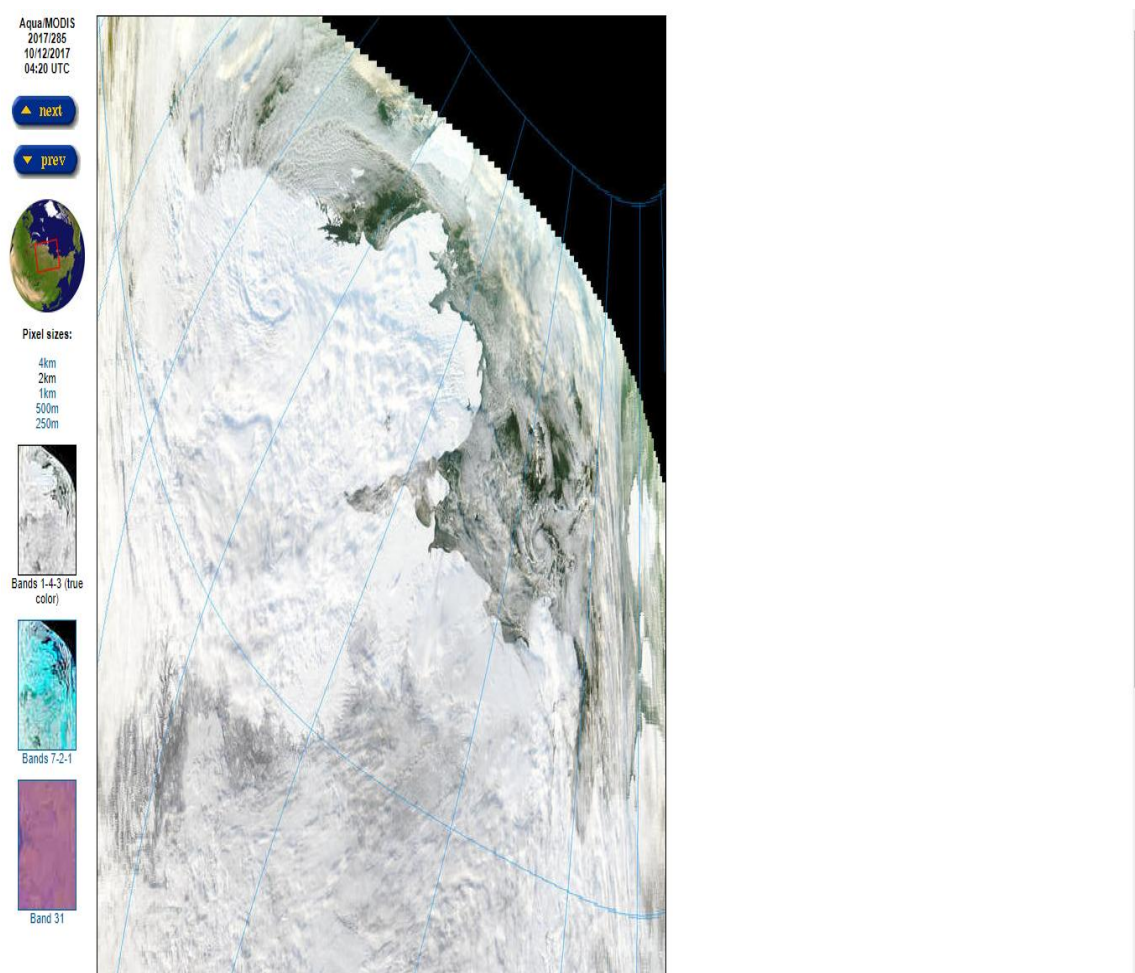


Рисунок 11 - Ближайший по времени снимок для выбранной области. Aqua/Modis 12.10.2017 г. в 4.20 час.

MYD02HKM.A2017285.0405.061.2017285160129.hdf	📄	2017-10-12 16:04	139,8 МБ
MYD02HKM.A2017285.0410.061.2017285160141.hdf	📄	2017-10-12 16:04	139,1 МБ
MYD02HKM.A2017285.0415.061.2017285160124.hdf	📄	2017-10-12 16:03	142,6 МБ
MYD02HKM.A2017285.0420.061.2017285160814.hdf	📄	2017-10-12 16:09	134,8 МБ
MYD02HKM.A2017285.0425.061.2017285160643.hdf	📄	2017-10-12 16:08	35,3 МБ
MYD02HKM.A2017285.0515.061.2017285160641.hdf	📄	2017-10-12 16:08	114,4 МБ
MYD02HKM.A2017285.0520.061.2017285160730.hdf	📄	2017-10-12 16:09	130,9 МБ
MYD02HKM.A2017285.0525.061.2017285160328.hdf	📄	2017-10-12 16:05	143,3 МБ

Рисунок 12 - Пример поиска данных в формате .hdf 12.10.2017 г. (285) в 4.20 час.

При работе с изображениями, взятых с ресурса приведенного выше, может возникнуть проблема, сходная с той, которая представлена на рисунке 13:

интересующая область находится в районе наложения полос сканирования, перекрывающих друг друга.

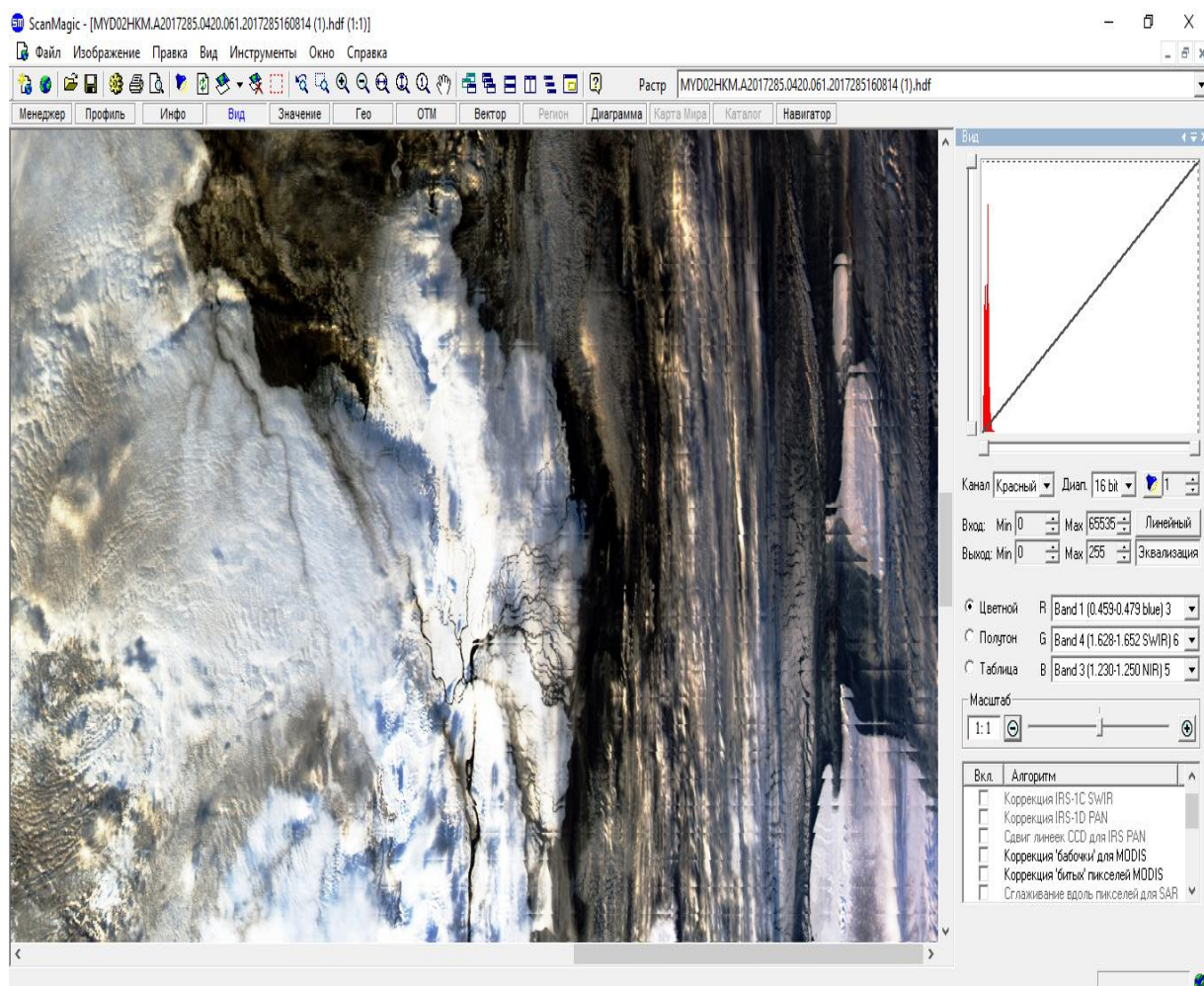


Рисунок 13 - Частичное перекрытие полос сканирования

Однако, воспользовавшись специальными функциями в этом программном продукте - коррекция эффекта "бабочки" для Modis и коррекция "битых" пикселей Modis, производится интерполяция значений, что приводит к сглаживанию изображения (рисунок 14). Использование этой функции помогает работать в случае нехватки качественного изображения. Производя коррекцию "бабочки" и "битых" пикселей, мы можем использовать изображения, которые на первый взгляд не пригодны для обработки.

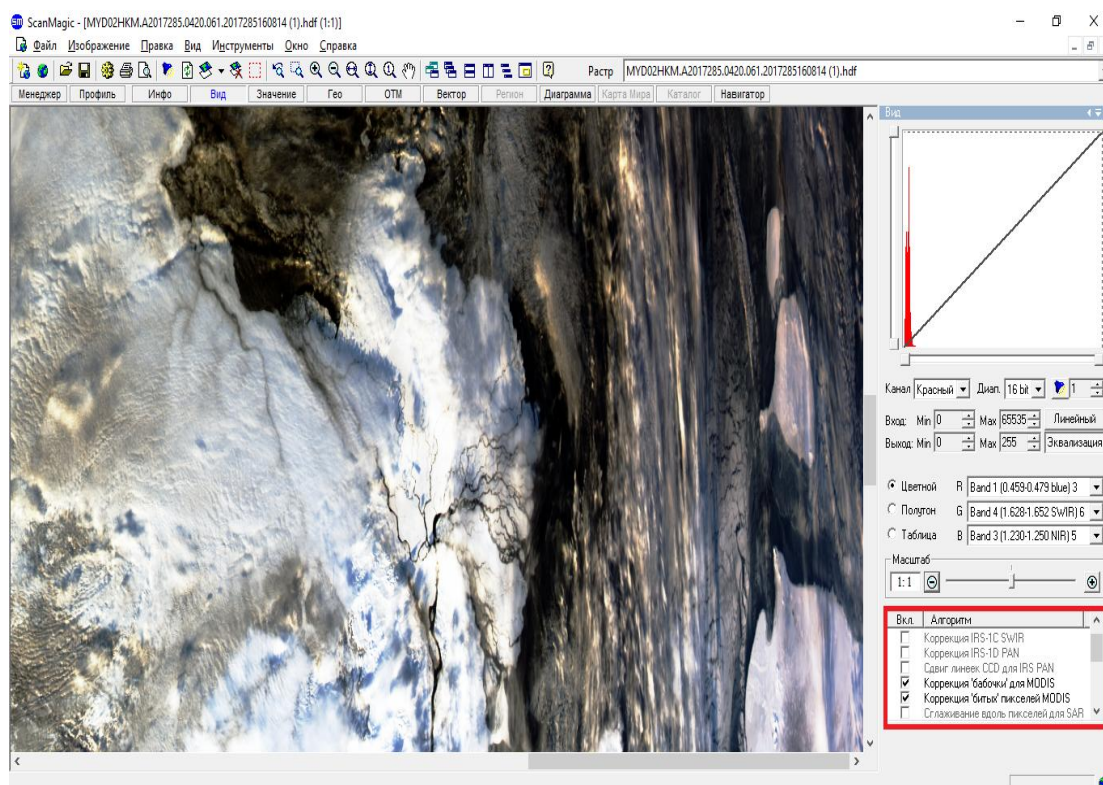


Рисунок 14 - Спутниковое изображение прошедшее коррекцию эффекта "бабочки" и "битых" пикселей

2.3 Общая информация о программе UNESCO Bilko

UNESCO Bilko - программный пакет предназначенный для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В данной программе присутствуют функции обработки и анализа любого изображения, в соответствующем формате, а также широкий спектр стандартных функций обработки.

Возможности программы UNESCO Bilko:

- поддержка распространенных форматов изображений, используемые в сфере дистанционного зондирования;
- поддержка чтения сжатых форматов изображений;
- работа с 3D и многоканальными данными (возможность восприятия до 128 каналов);
- инструменты для работы с изображениями:
 1. Создание и использование цветовых палитр;
 2. Создание композитных изображений;

3. Изменение масштаба и вращения изображений;
4. Отображение пиксельной информации.

- инструменты анализа изображений:

1. Выделение точек, линий и полигонов;
2. Построение разрезов и гистограмм.

- инструменты обработки данных;

- использование формул [13].

Для начала работы с программой Bilko нужно загрузить изображения полученные с каналов видимого диапазона. Данные трех изображения загружаются в используемый программный пакет. С помощью контекстного меню выбираются все изображения и производится их объединение.

После объединения слоев выбирается их последовательность для нужного отображения. В данном случае это будет последовательность для воссоздания в естественных цветах (RGB). Для данной процедуры необходимо выбрать слой, который отвечает за красный диапазон и нажать клавишу R. Точно так же поступают при выборе зеленого и синего слоев(рисунок 15).

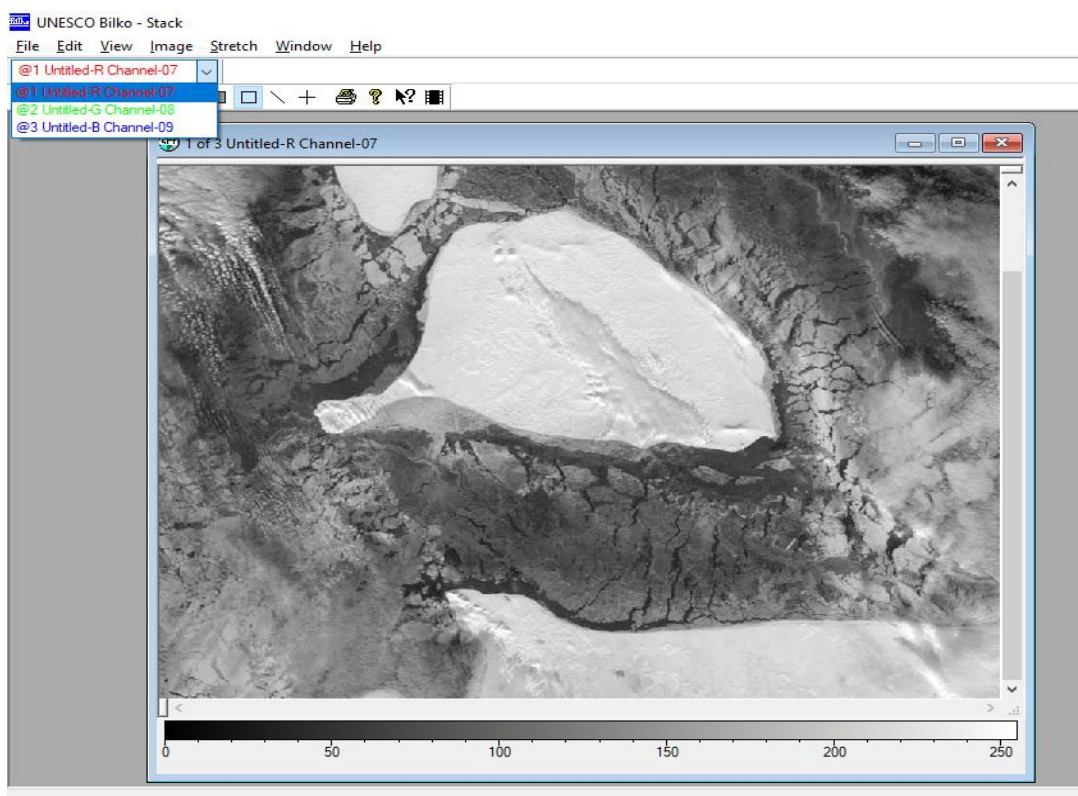


Рисунок 15 - Объединение трех слоев R, G и B в один

После объединения нужных нам каналов, выполняется построение разрезов для определения размеров прибрежных полыней. Для этого рассмотрим спутниковые изображения за 10 октября 2017 г. (рисунок 16).

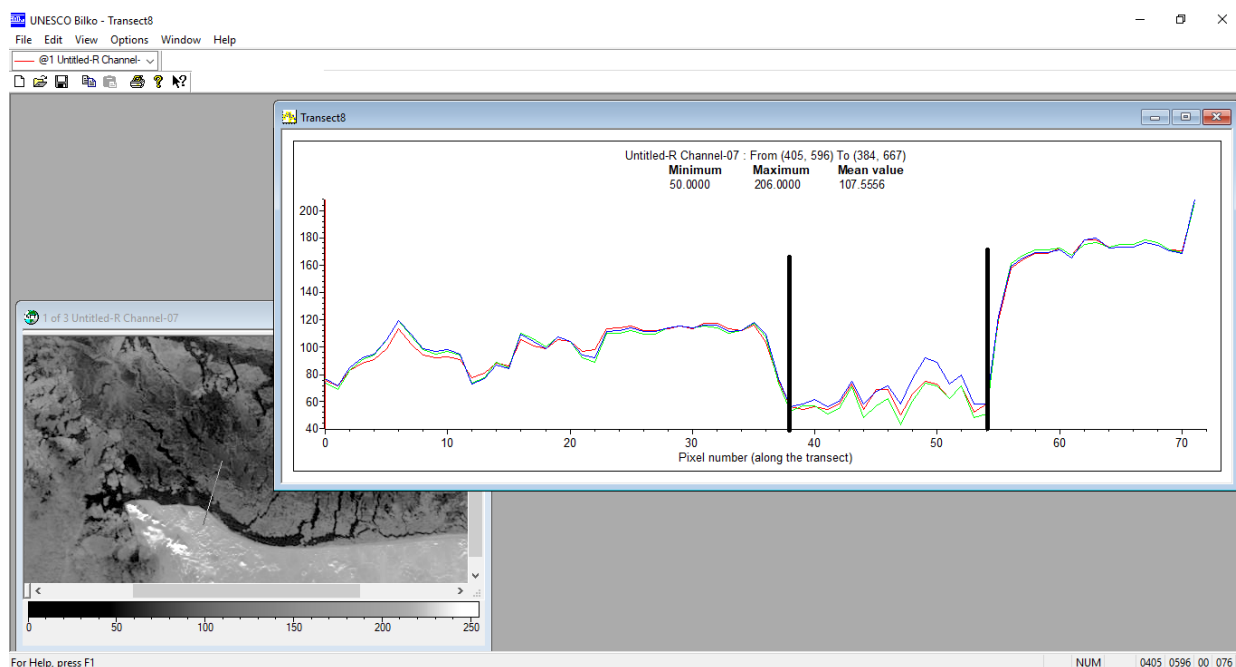


Рисунок 16 - Построение разреза по имеющемуся спутниковому снимку.
10.10.2017 г.

Результатом построения разреза стал график, на котором показан резкий скачек яркости пикселей. Чистая вода имеет меньший коэффициент отражения, чем снежный покров и ледовые поля. Обозначив границы проталины и зная пространственное разрешения спутника, можно рассчитать ширину образованного канала.

Ширина канала: 16 (в пикселях)

Пространственное разрешение снимка: 250 м

Расчет: $250 \times 16 = 4\,000$ м

Ширина проталины может позволить пройти судам, даже не имеющих ледового класса, но при рассмотрении снимка, можно заметить, что проталина заканчивается прибрежным припаем и выхода из него нет.

Обратную ситуацию можно рассмотреть на снимке за 12 октября 2017 г (рисунок 17).

В следствие воздействия южного ветра лед спрессовался к берегу острова Большая Ляховский, тем самым открыв большой канал свободный ото льда.

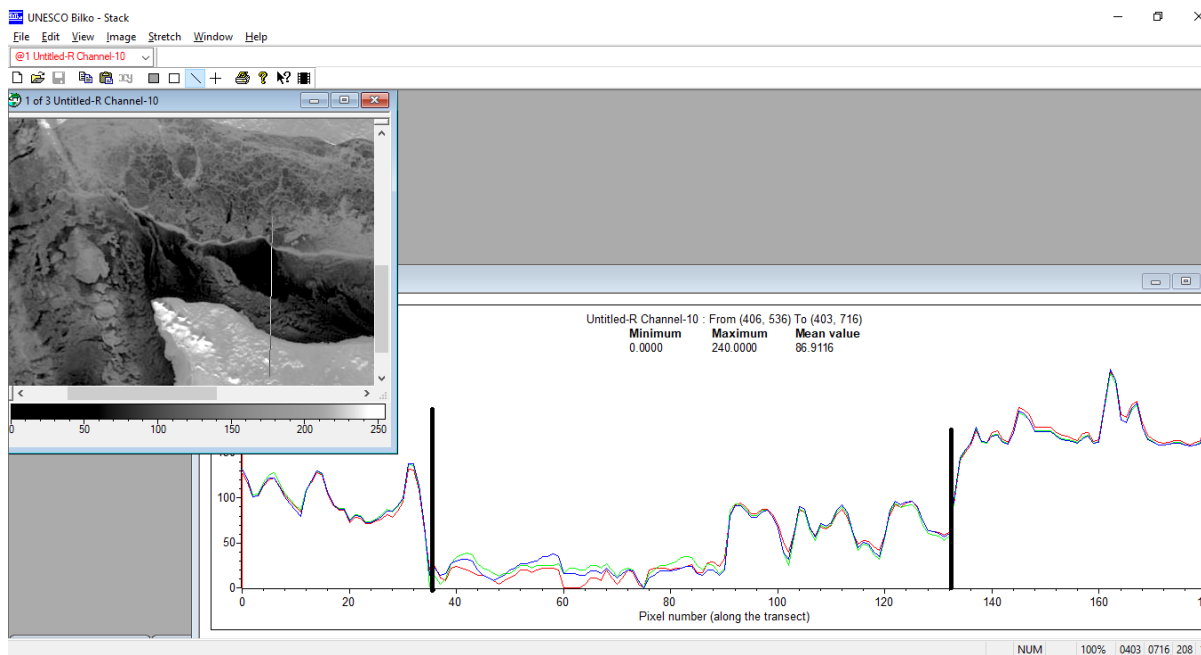


Рисунок 17 - Построение разреза по имеющемуся спутниковому снимку.
12.10.2017 г.

Ширина канала: 94 (в пикселях)

Пространственное разрешение снимка: 250 м

Расчет: $250 \times 94 = 23\,500$ м

2.4 Предоставление навигационной информации по ледовым картам АА-НИИ

Навигационные карты по данным Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) являются, пожалуй, самыми точными данными о состоянии ледового покрова северного Ледовитого океана (СЛО) в Арктики.

ААНИИ - старейший научно - исследовательский институт России, проводящий комплексные изучения зон Арктики и Антарктики.

Сотрудники института анализируют спутниковые данные, благодаря которым составляются подробные генерализированные карты состояния ледяного покрова в арктических и замерзающих морях России.

Производится два вида таких карт:

- 1 Тип - Обзорные ледовые карты северного Ледовитого океана, представленные на рисунок 18 [14].

Частота выхода таких карт довольно велика. Периодичность их выпуска - 4 раза в месяц. Однако информация, отображенная на них, не является точной.

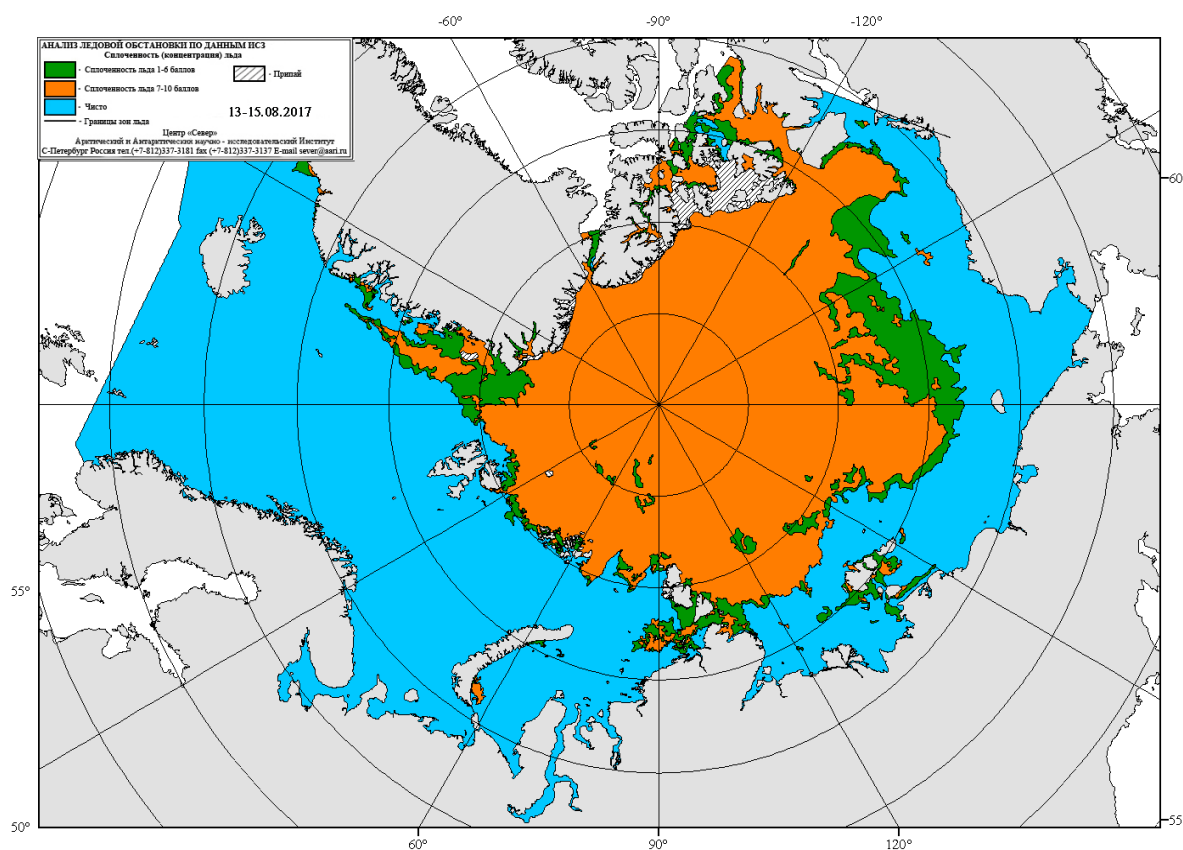


Рисунок 18 - Обзорная ледовая карта СЛО. 13-15.08.2017 г.

Зеленый сплоченность льда - 1- 4 балла, оранжевый - сплоченность льда 7 - 10 баллов, синий - чисто, штриховка - припай

Данные, получаемые с этих карт, позволяют получить информацию об общем состоянии в необходимой области. Они показывают общие изменения без углубленных данных, которые нужны нам для обработки информации района пролива Дмитрия Лаптева.

- 2 Тип - Региональные ледовые карты Евразийской Арктики представленные на рисунке 19 [15].

Частота выхода таких карт - 1 раз месяц. Учитывая, порой, быструю изменчивость климатических условий, влияющих на состояние льда, такая периодичность выпуска недостаточна. Однако на этих картах предоставляются уточненные данные, которые соответствуют действительности.

В данных о сплоченности представлены возрастные соотношения состава льдов, что позволяет более детально рассмотреть ситуацию в нужном районе.

В отличие от обзорной карты, на региональной представлена точная информация о сплоченности льда и информация о его возрасте.

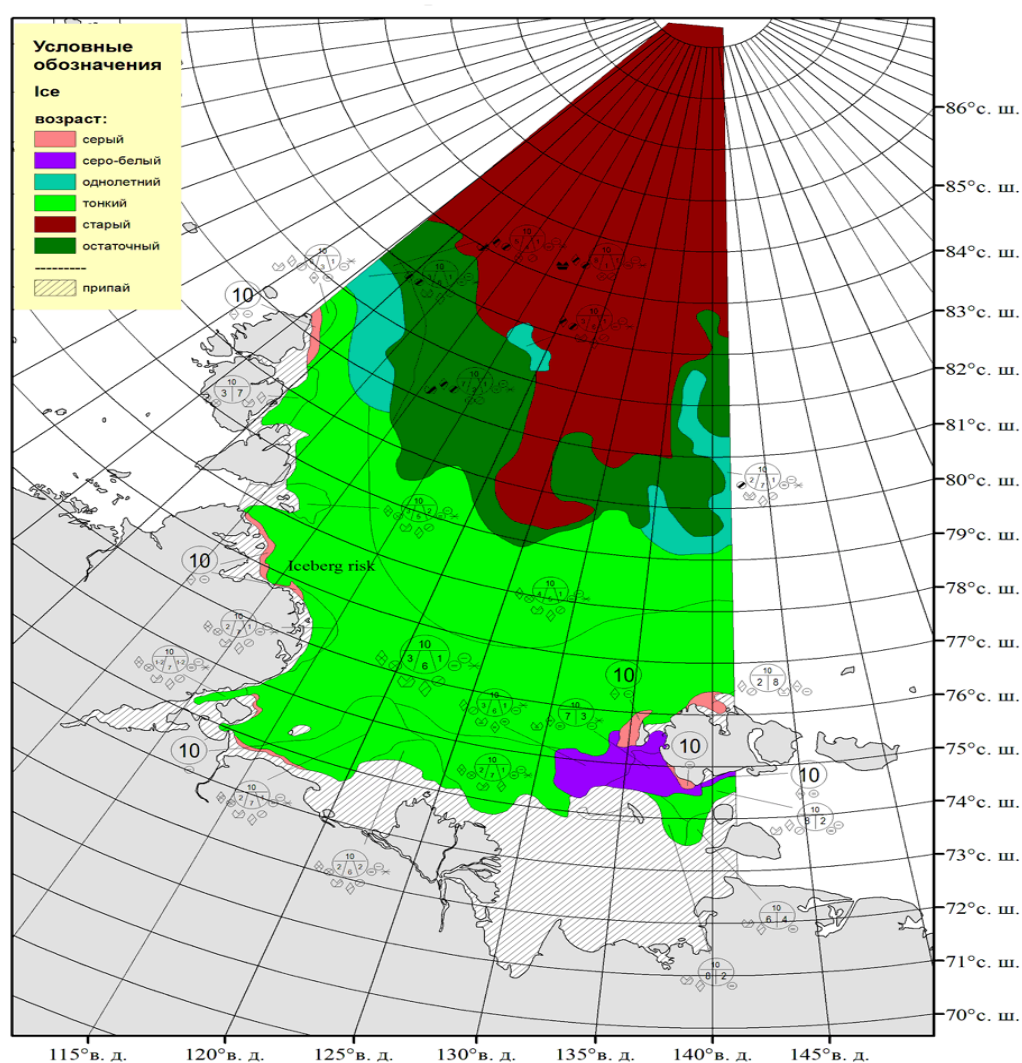


Рисунок 19 - Региональная ледовая карта Евразийской Арктики. 01.08.2017 г.

Но в итоге можно сказать о том, что таких ледовых карт недостаточно для уверенной навигации на трассе СМП. Общие карты хоть и выходят часто, но недостаточно точны. Региональные же карты довольно точные, но периодичность их выхода не позволяет иметь точную информацию на конкретный интересующий нас день. Такая ситуация приводит к тому, что эти карты нужно уточнять с помощью сторонних данных. Эта информации позволит нам создать более детальные ледовые карты, навигация по которым будет более безопасна.

Вывод

Рассмотрев методы, с помощью которых возможно производить обработку данных, были проанализированы спутниковые снимки с помощью комбинации каналов в псевдоцветном виде. Произведены способы наложения маски облаков, разделения поверхности льда и облаков, неотличимых на снимках в естественных цветах. Для обработки изображений использован метод коррекции "бабочки" и устранения "битых" пикселей.

По информации, полученной с разрезов спутниковых снимков рассчитаны размеры проталин - каналы по которым возможен проход для судов не имеющих ледового класса. Проанализированы имеющиеся ледовые карты предоставляемые ААНИИ. Выявлены их положительные и отрицательные свойства.

3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАССЫ СЕ- ВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Для обеспечения навигационной информацией о ледовых условиях на трассе СМП необходимо определить методику выполняемых действий. Первым является выбор области, для которой будет проходить анализ данных, предоставляемых спутниковыми системами.

Анализируемая область – пролив Дмитрия Лаптева, являющийся одним из путей для судов, следующих по СМП.

Пролив Дмитрия Лаптева является наикротчайшим трассой между городами Тикси и Певек на трассе СМП. Этот проход позволяет уменьшить время проводимого в пути и количество затрачиваемого топлива. В связи с невозможностью переброски большого объема грузов по суше и трудных климатических условий морской путь является главной артерией между этими городами. Чем раньше начнется навигация, и будет короче путь, тем меньшие экономические потери.

В процессе выполнения работы проводился анализ спутниковых данных, бесплатных или условно бесплатных, которые позволили провести предварительный анализ навигационных условий в Арктике.

Учитывая, что море Лаптевых отличается значительной облачностью в течение всего года, для качественного анализа необходима информация в микроволновом диапазоне, в том числе данные РСА (радаров синтезированной апертуры). Однако, для уточнения микроволновой информации в условиях малой облачности можно использовать данные видимого диапазона, анализ которых представлен в настоящей работе.

Для выполнения работы использовались бесплатные программные комплексы (Unesco Bilko) и профессиональные пакеты (ScanMagic). Исходные данные – это данные за 2017 г.

Первым шагом работы является нахождение нужных снимков. Так как в северных широтах почти всегда облачно, поиск изображений немаловажная часть произведенной работы.

3.1 Получение оперативной информации с помощью Terra/Modis

Рассмотрим этап начала навигации, когда в проливе может присутствовать некоторое количество летнего либо дрейфующего льда.

Известно, что дрейф в Арктике (рисунок 20) имеет две основные причины: чисто ветровую, тесно связанную с локальными ветрами [16], и "неветровую", которая практически не зависима от локального ветра. Роль неветровой компоненты в Арктике составляет, в среднем, около 60%. Роль течения максимальна в летнее полугодие.

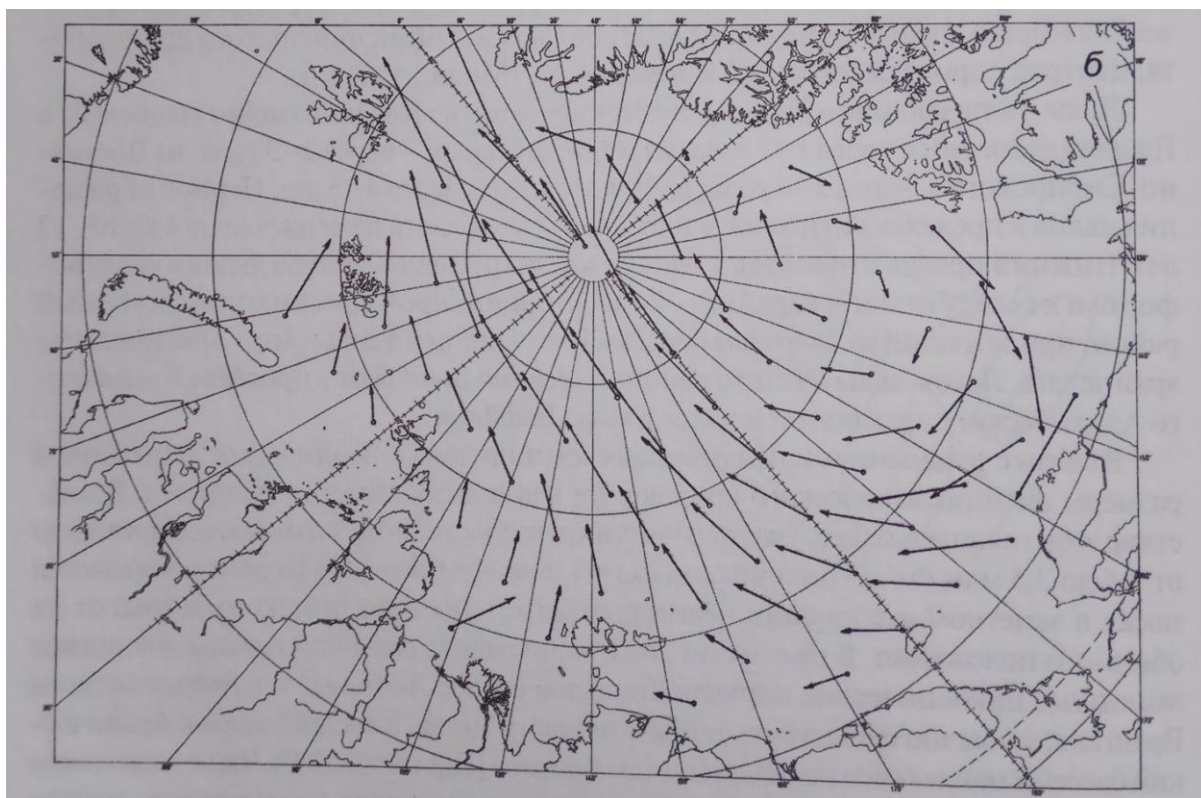


Рисунок 20 - Схема среднего результирующего дрейфа льда за апрель - март.

На приведенной схеме (рисунок 20), можно видеть векторы среднего результирующего дрейфа льда. Основной поток льда перемещается к проливу между Гренландией и Шпицбергенем, но также присутствует направление в сторону Новосибирских островов.

Такое воздействие пагубно для навигации в этом районе, так как присутствующий летний лед или припай стационарно находятся в определенном месте. Дрейфующий лед же может появиться внезапно осложнив, либо сделав невозможным, проход маломерным и не имеющим ледового класса судам [17].

Наглядным изображением этого эффекта является рисунок 21, на котором представлен дрейфующий лед.

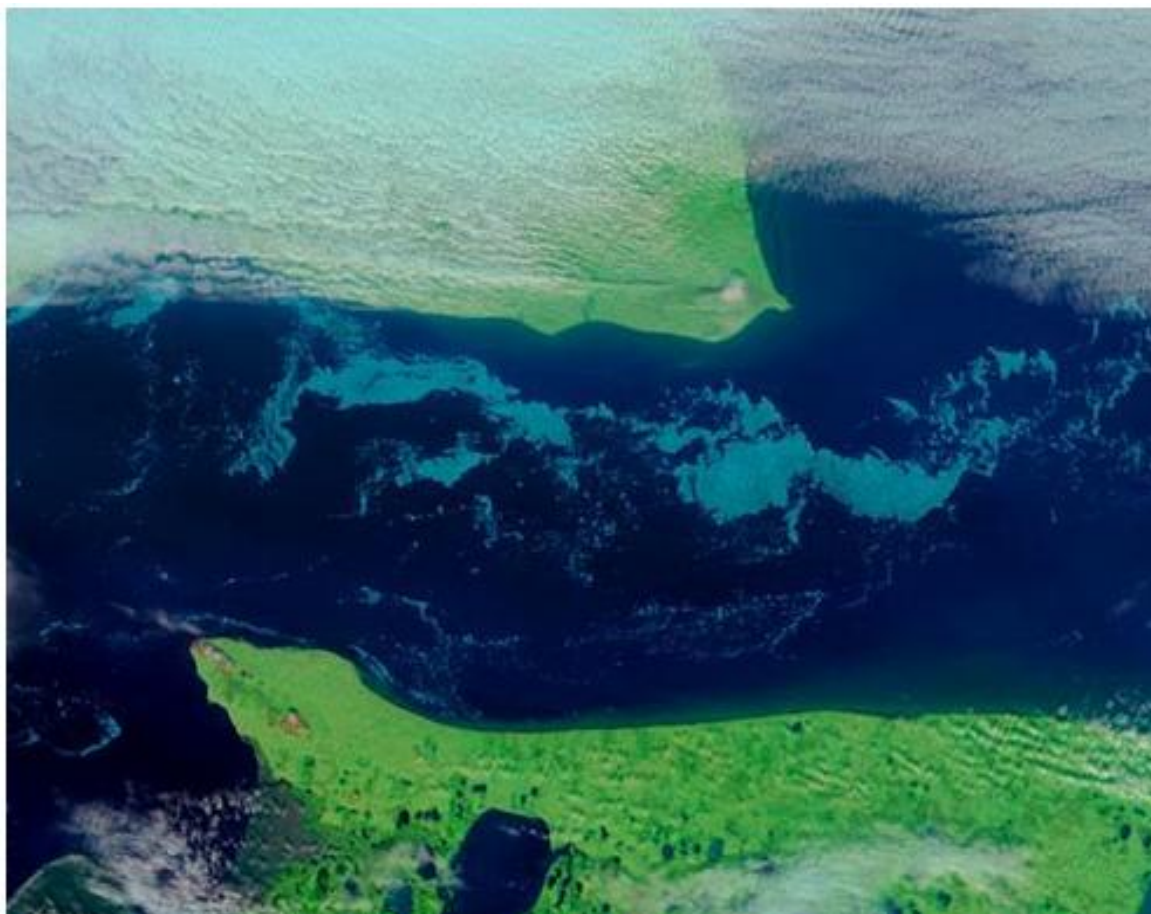


Рисунок 21 - Спутниковое изображение остаточных дрейфующих льдов в проливе Дмитрия Лаптева в естественных цветах.

Terra/Modis.12.08.2017 г.

Белый - облака, зеленый - суша, голубой - дрейфующий лед,
темно - синий - водная поверхность

С помощью летнего льда можно уточнять прибрежную зону мели (рисунок 22). Вследствие воздействия северных ветров лед насаживается на мель. При этом образуется прибрежная полынья, на первый взгляд, в которую может войти маломерное судно и спокойно пройти этот участок, не опасаясь внезапного появления дрейфующего льда. Но на практике такая прогалина оказывается более опасной зоной для передвижения, чем другая водная поверхность.

Заходя в прибрежную прогалину судно может спокойно передвигается некоторый промежуток времени, но за частую бывает так, что такая полынья заканчиваются припаем и вследствие воздействия ветров, либо нажимного дрейфа, судно может застрять во льду, что приведет к невозможности продолжения движения [18].

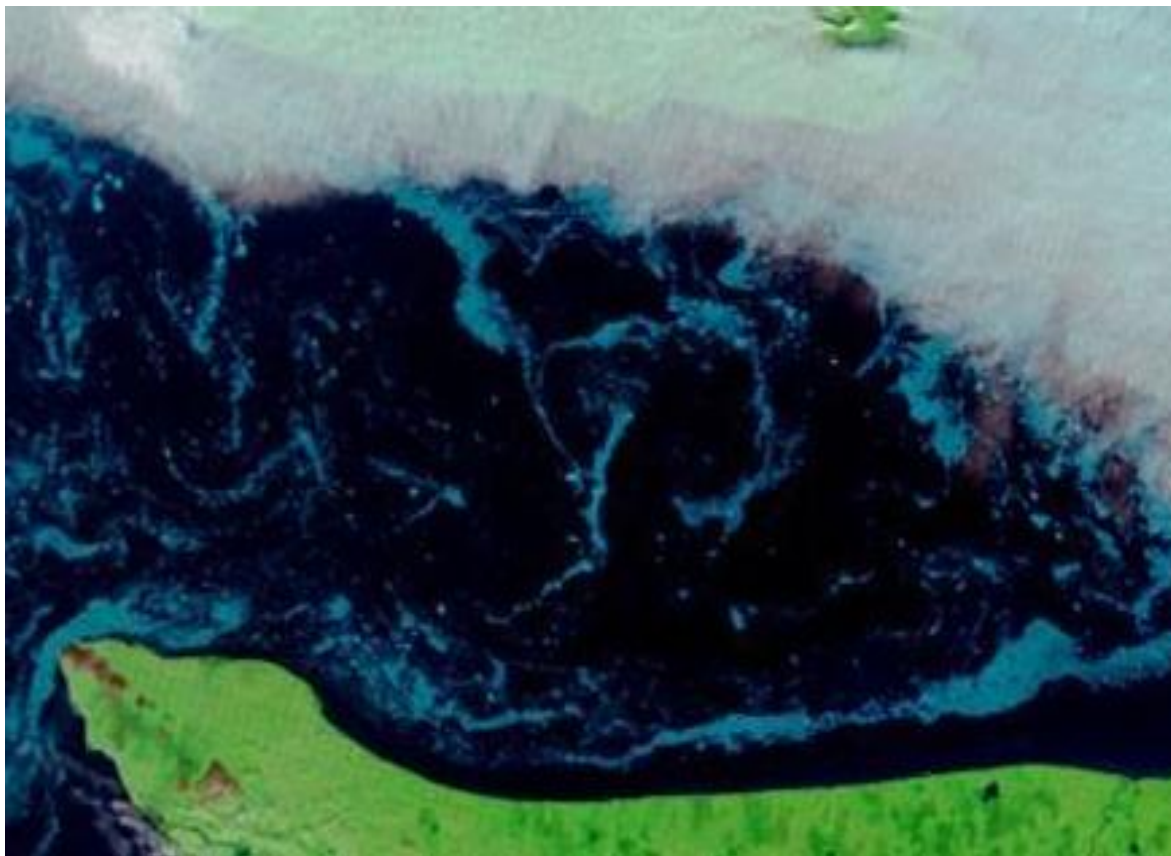


Рисунок 22 - Спутниковое изображение остаточных форм льда на мелководье в проливе Дмитрия Лаптева. Terra/Modis 9.08.2017 г.

Белый - облака, зеленый - суша, голубой - дрейфующий и насаженный на мель лед
темно - синий - водная поверхность

На следующем этапе изучения приняты данные за период, когда пролив не покрыт льдом (рисунок 23).

На рисунке 23 хорошо заметны зоны мели вследствие большого количества взвешенных минеральных веществ в воде. Видна обольшая мелководная зона восточнее острова Большой Ляховский. Так же просматриваются зоны мели вдоль береговой линии материка и южного берега острова [19].

Во время исследования этих территорий, суда часто садились на мель. Однако благодаря подобным снимкам в исследуемой изменчивой зоне, можно обозначить наиболее благоприятный маршрут [20].

Упоминая изменчивость рельефа дна в этом районе нельзя не вспомнить бывший остров, находившийся в проливе Дмитрия Лаптева, который был открыт гидрографической экспедицией в 1739 г., но уже в 1811 г. не был обнаружен [21].

Сегодня «подводная банка Диомида», является отмелью, вершина которой, по данным на 2005 г., находилась на уровне 7,7 метров ниже уровня моря [22]. Эта информация очень важна для навигации судов с осадкой более 7 метров. Им следует обходить эту опасную зону.



Рисунок 23 - Спутниковое изображения проливов Дмитрия Лаптева и Санникова. Terra/Modis, 31.08.2017 г.

Белый - облака, коричневый - суша, темно-голубой - вода, серый - песчаная взвесь и зоны мели

Так же источником информации могут служить погодные условия в проливе. На рисунке 24 изображен новообразованный циклон синоптического масштаба.

Подобные погодные условия опасны для маломерных судов и судов не имеющих ледового класса.

При возникновении циклона идет резкая смена погоды, усиливается ветер, а учитывая, что под действием силы Кориолиса все циклоны в высоких широтах идут с запада на восток, такие погодные условия будут затрагивать значительную часть СМП. Описанные синоптические условия опасны для навигации маломерных и не имеющих ледового класса судов [23].

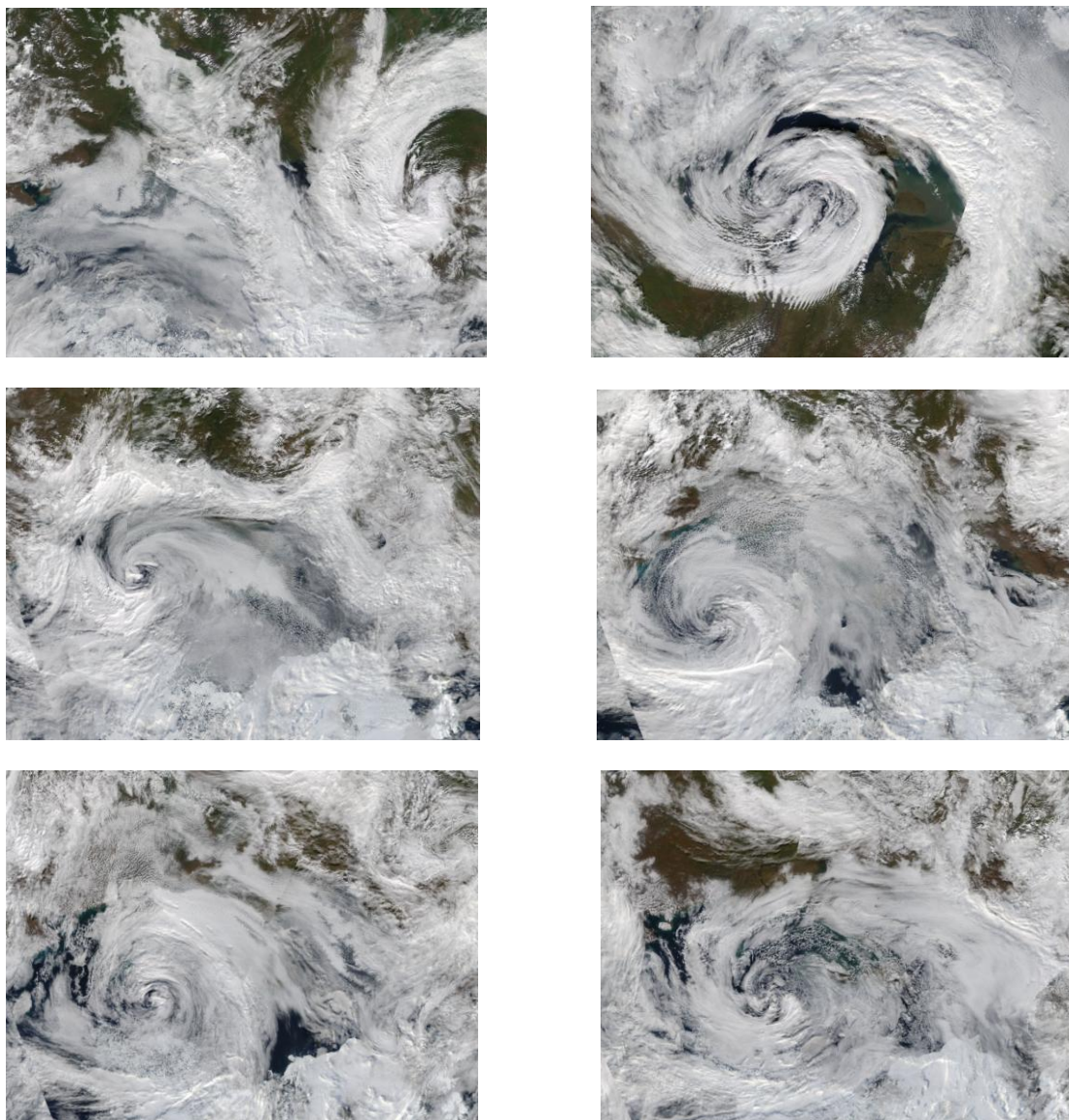


Рисунок 24 - Спутниковое изображения движения циклона по трассе СМП.

Terra/Modis, 30.08.2017 г. - 6.09.2017 г.

Следующим этапом работы является исследование пролива во время ледообразования. Важно понять, когда трасса начинает покрываться льдом. Во время отсутствия льда по проливу может пройти практически любое судно, не считая судов с большой осадкой, а во время ледообразования для обычных судов путь в проливе может считаться не безопасным. Начало ледообразование представлено на рисунке 25.

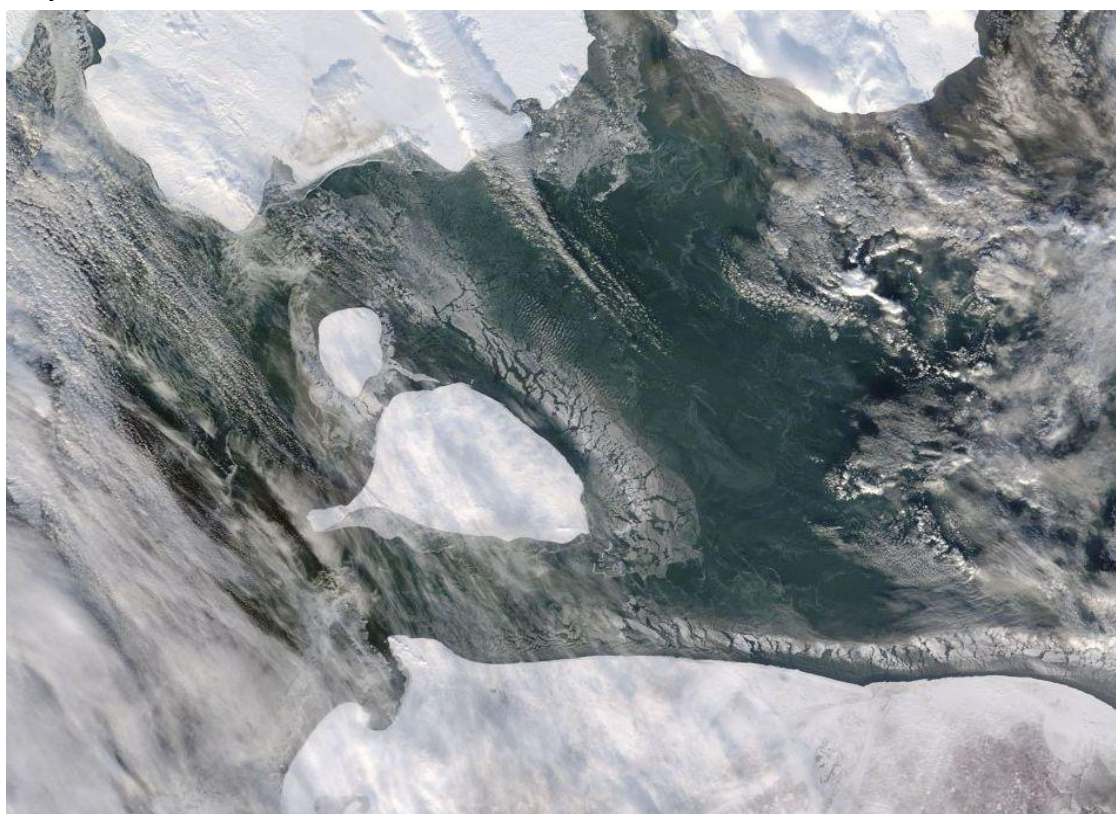
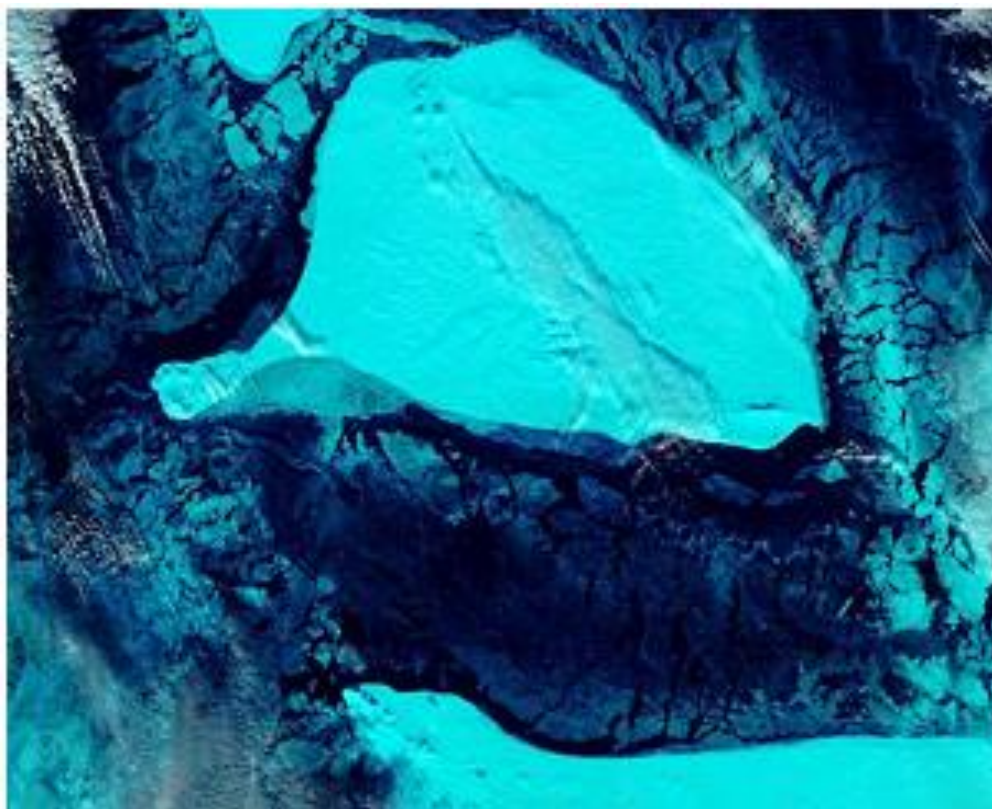


Рисунок 25 - Начало ледообразования. Terra/Modis. 8.10.2017 г.

Хорошим примером сложности навигации в проливе служит его быстрая изменчивость.

На рисунке 26а отображен пролив и расположенный рядом остров, покрытый дрейфующими ледяными полями незначительного размера. Другая ситуация изображена на рисунке 26б. Здесь можно наблюдать, что лед дрейфует к северному берегу острова Большой Ляховский. Под воздействием южного ветра и нажимного дрейфа сплоченность льда увеличилась, происходит его наслоение, что сильно осложняет навигацию в этом районе [24].



а)



б)

Рисунок 26 Спутниковое изображения положения льда в проливе Дмитрия Лаптева. Terra/Modis в комбинации каналов 7-2-1 (а) 10.10.2017 г. и (б) 12.10.2017 г.

Белый - облака, зеленый - суша, голубой - дрейфующий и насаженный на мель лед
темно - синий - водная поверхность

Ориентируясь на изображения в 7-2-1 каналах, мы можем видеть зоны с повышенной сплоченностью льда светло - голубого цвета и проталины - темно-синего цвета (рисунок 26).

Эта информация может стать полезной для навигации судов с повышенной проходимостью.

При прохождении проливом ледокол выбирает оптимальный курс во льдах и не тратит топливо на преодоление мощных льдов. Например, проходя по разводьям и полыньям, а также по образованному каналу в тонких льдах, ледокол только увеличивает его ширину, обеспечивая проход каравану грузовых судов [25].

В качестве завершающего этапа для анализа выбран период, полного покрытия пролива льдом. В это время навигация на участке доступна только для ледокольного транспорта.

На рисунке 27 хорошо выделены участки с наибольшей сплоченностью льда, изображенные оттенками светло-синего цвета.

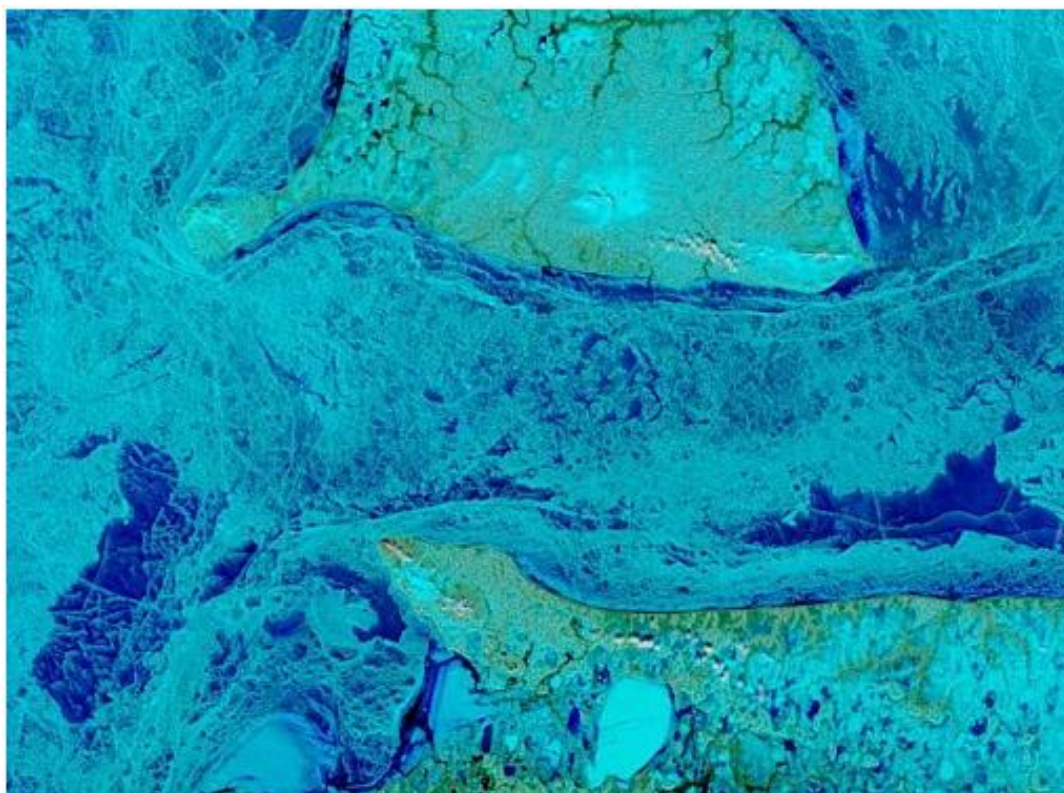


Рисунок 27 - Спутниковое изображение пролива Дмитрия Лаптева в 7-2-1 каналах с информацией о сплоченности льда. Terra/ Modis. 18.06. 2017 г.

Под действием северных ветров и так называемого нажимного дрейфа льда, у побережья материка увеличивается его сплоченность, образуются зоны сжатия, торосы; на мелководье появляются стамухи. При отжимном дрейфе лед дрейфует от берега, и в прибрежной зоне появляются разводья, которые вновь могут покрыться льдом (на рисунке 27 изображены в темно-синем цвете). Такие участки опасны для маломерных судов, так как могут со всех сторон быть окружены мощными льдами. Попав в них, рассчитывая на облегчение плавания, судно в дальнейшем не сможет без помощи и дополнительных затрат выйти на трассу СМП. Области большой сплоченности при нажимном дрейфе сильно усложняют условия навигации вследствие того, что на торосистых участках увеличивается толщина льда и, как следствие, продолжительность его таяния по сравнению с другими районами [26].

3.2. Получение оперативной информации с помощью AMSR2

При работе со спутниками в Арктике не стоит забывать о микроволновом спектре сканирования. Для обеспечения информацией такого вида следует воспользоваться сервисной системой Arctic Sea Ice Graphs. Здесь представлены архивы данных о наблюдении за зоной Арктики, имеются сведения о толщине ледяного покрова, температур воды / воздуха и их изменчивости за цикл года [27].

С помощью архивирования производится сбор данных. Последующим этапом работы будет моделирование процессов изменения окружающей среды в атмосфере, океане, на суши и в криосфере. Готовые визуализированные данные предоставляются пользователю веб - сайта.

Для доступа к информации полученной с AMSR2 спутника GCOM-W1 необходимо зайти на сайт Arctic Sea Ice Graphs и нажать на график соответствующий данным этого модуля (рисунок 28).

С помощью контекстного меню, представленного на рисунке 29, можно выбрать вид отображения имеющихся данных.

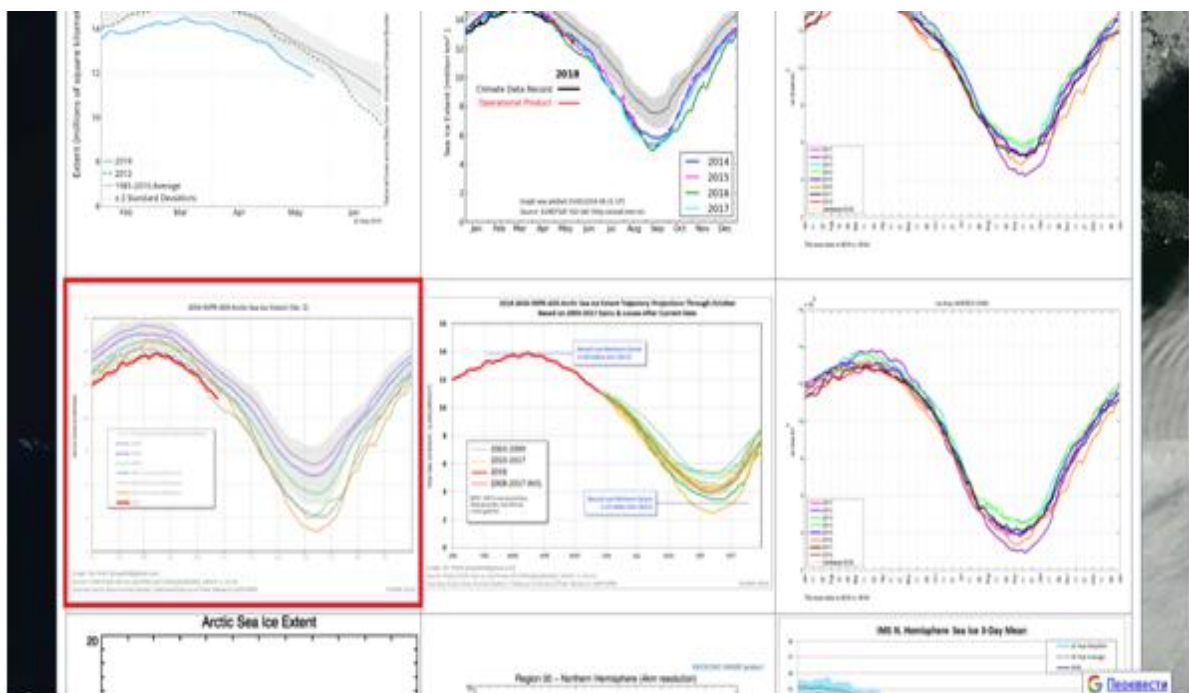


Рисунок 28 - организация доступа к данным AMSR2 спутника GCOM-W1



Рисунок 29 - Контекстное меню для выбора отображения данных AMSR2

Во вкладке Monitor View нам предоставляются актуальные данные за текущую неделю по одному изображению (рисунок 30).

С помощью календаря, представленного на рисунке 30, можно найти информацию за предшествующие этой дате данные. Так же имеется функция Select Option (рисунок 31), с помощью которой можно выбрать вид отображаемых данных.

К интересующим нас функциям относятся:

- SeaIce+SSTemp.+Snow - отображение морского льда, его температуры, а так же свежевывавшего снега;
- SeaIce Concentration - концентрация морского льда;
- SeaIce Thickness - толщина льда

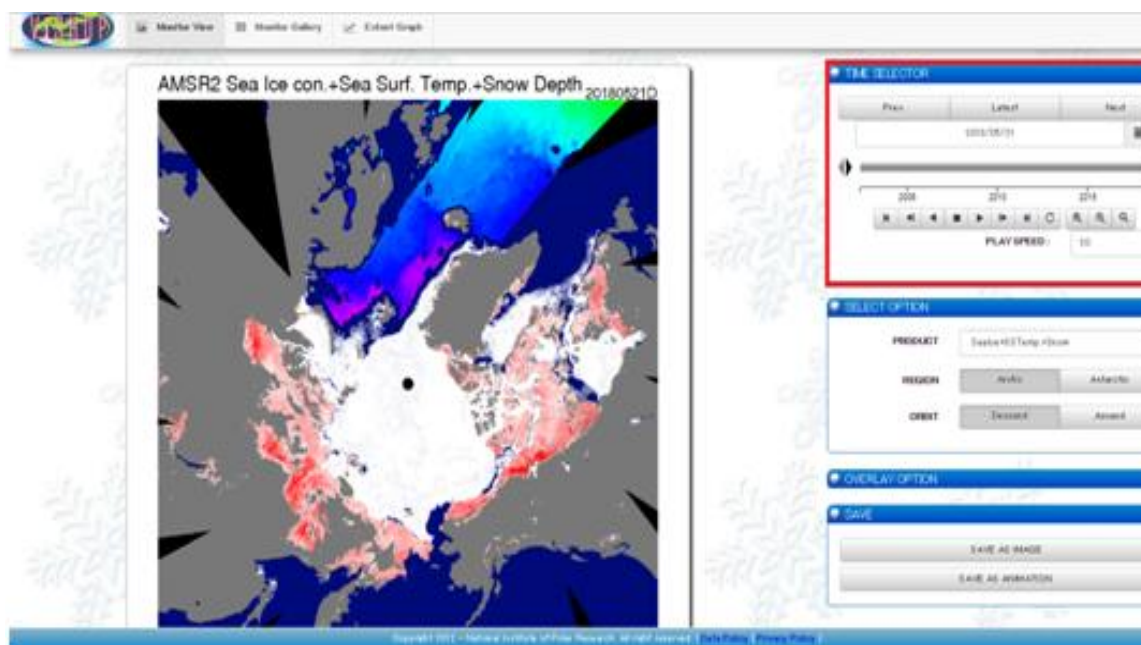


Рисунок 30 - Организация доступа к данным с модуля AMSR2 спутника GCOM-W1 за текущую неделю



Рисунок 31 -Изменение вида отображаемых данных

Во вкладке Monitor Gallery нам представлено сразу несколько изображений (рисунок 32).

Календарь представлен в другом виде. Присутствует выбор двух дат, промежутке из которых будет отображены все имеющиеся изображения. Но стоит заметить, что присутствуют изображения с пометкой "No Data". Это означает, что данные не прошли обработку и будут показаны только после их готовности. Так же можно выбрать вид отображения данных, как и в случае с вкладкой Monitor View.

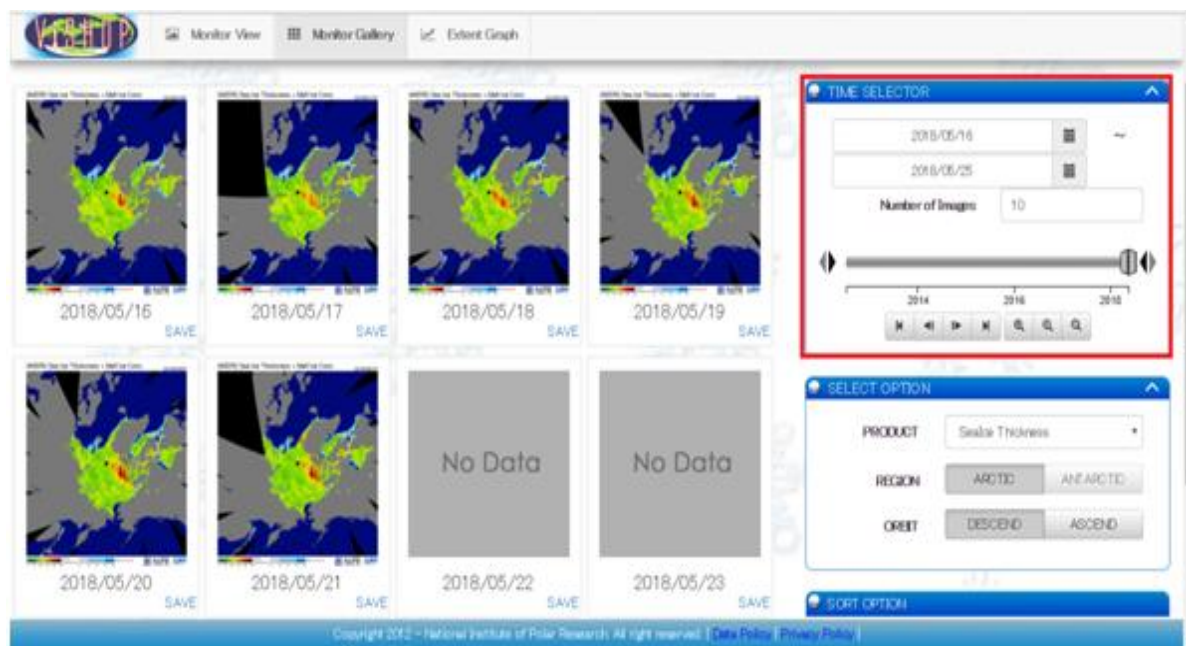


Рисунок 32 - Организация доступа к данным с модуля AMSR2 спутника GCOM-W1 за установленный промежуток времени

Во вкладке Extent Graph представлена площадь льда в Арктики в графическом виде в сравнении с предыдущими годами (рисунок 33). В легенде графика присутствуют количественные характеристики. Следует заметить, что количество льда постепенно уменьшается и 2018 г. второй после 2016 г. по минимальной площади льда.



Рисунок 33 - сезонный график площади морского льда в Арктике.
(мл. км²)

Для навигационного обеспечения будет использоваться галерея снимков, в которой хранится архив данных за прошлые года.

Первым рассмотрим временной период нарастания ледяного покрова (рисунок 34 [28]).

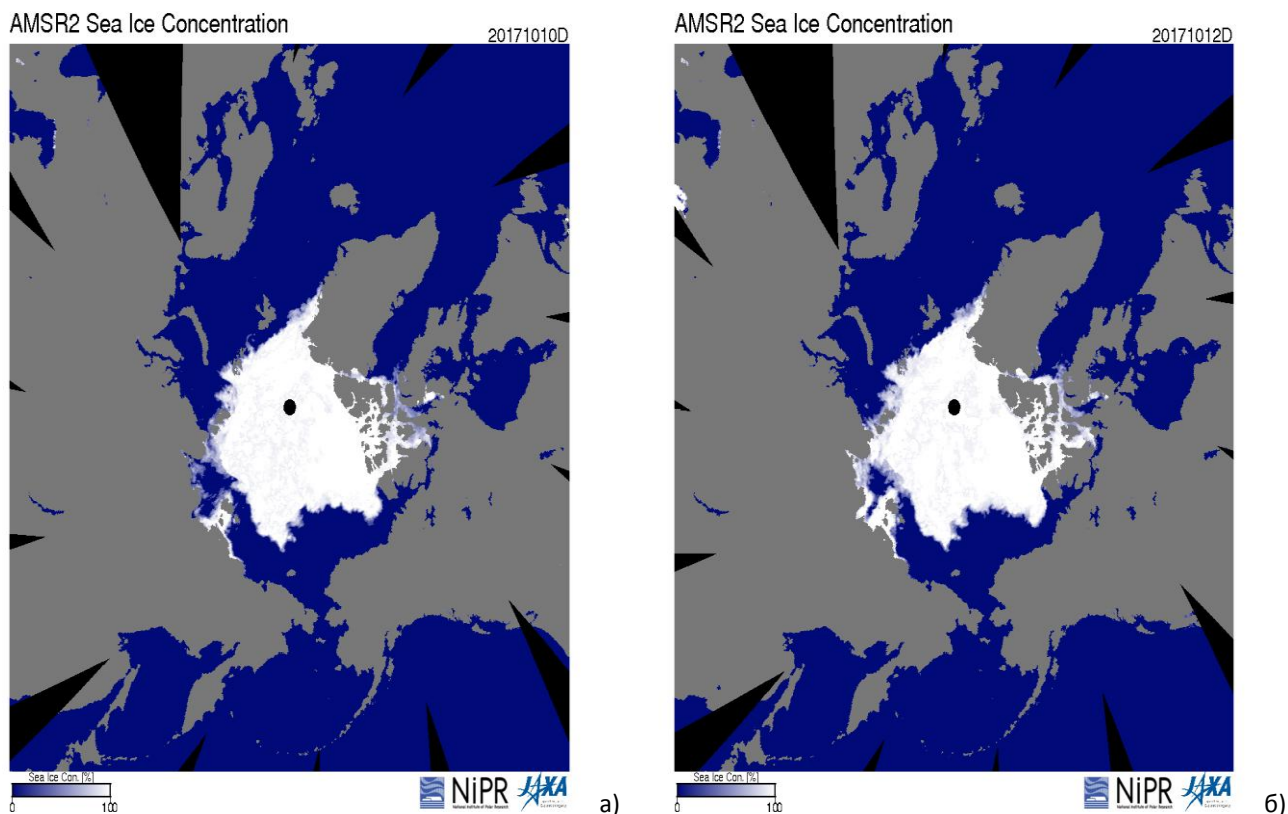


Рисунок 34 - Концентрация морского льда. GCOM-W1/AMSR2
(а) 10.10.2017 г. (б) 12.10.2017 г.

Из сравнения рисунков 34а и 34б следует, что идет постепенное нарастание ледяного покрова. Такая ситуация соответствует данным, полученных при анализе пролива Дмитрия Лаптева оптическим радиометром Modis спутника Terra.

Рассмотрим те же даты, только в другом режиме измерения толщины ледяного покрова, представленного рисунке 35 [29].

При сравнении рисунков 35а и 35б можно заметить, что имеются изменения красных зон. По легенде этих рисунков цветовая палитра от зеленого к красному указывает на изменения толщины и возраста льда, а голубой - сплошности. Таким образом можно сделать вывод, что масса льда, расположенная около Северного полюса, с толщиной 5 и более метров перемещается. Такая си-

туация не соответствует действительности так, как лед в этой области не имеет тенденции к быстрому нарастанию толстых льдов и изменению местоположения. Следовательно, можно сделать что в таких данных может присутствовать ошибочная информация [30].

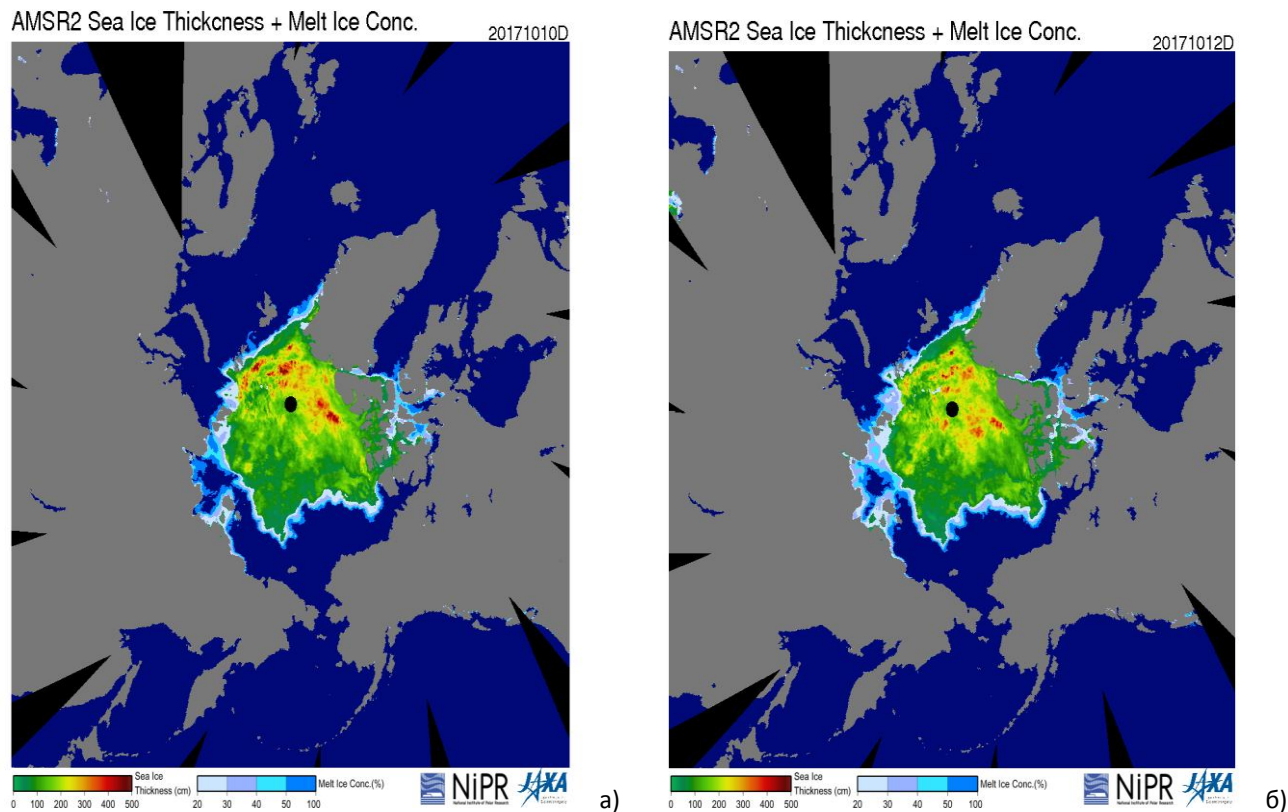


Рисунок 35 - Толщина морского льда. GCOM-W1/AMSR2
(а) 10.10.2017 г. (б) 12.10.2017 г.

3.3 Описание методики предоставления информации для навигационного обеспечения трассы СМП

Для упрощения обработки и анализа космических снимков и большей доступности для людей не имеющих углубленных знаний в работе с современными системами, необходимо выявить последовательность действий, благодаря которым может быть представлен упрощенный доступ к информации, необходимой для навигационного обеспечения трассы СМП (рисунок 36).

Первым пунктом в этой последовательности является выбор области для которой будет производится анализ снимков (1), полученных со спутников, находящихся на околоземной орбите. В данной работе представлен способ обра-

ботки космических снимков для Новосибирского архипелага, в частности – пролива Дмитрия Лаптева.

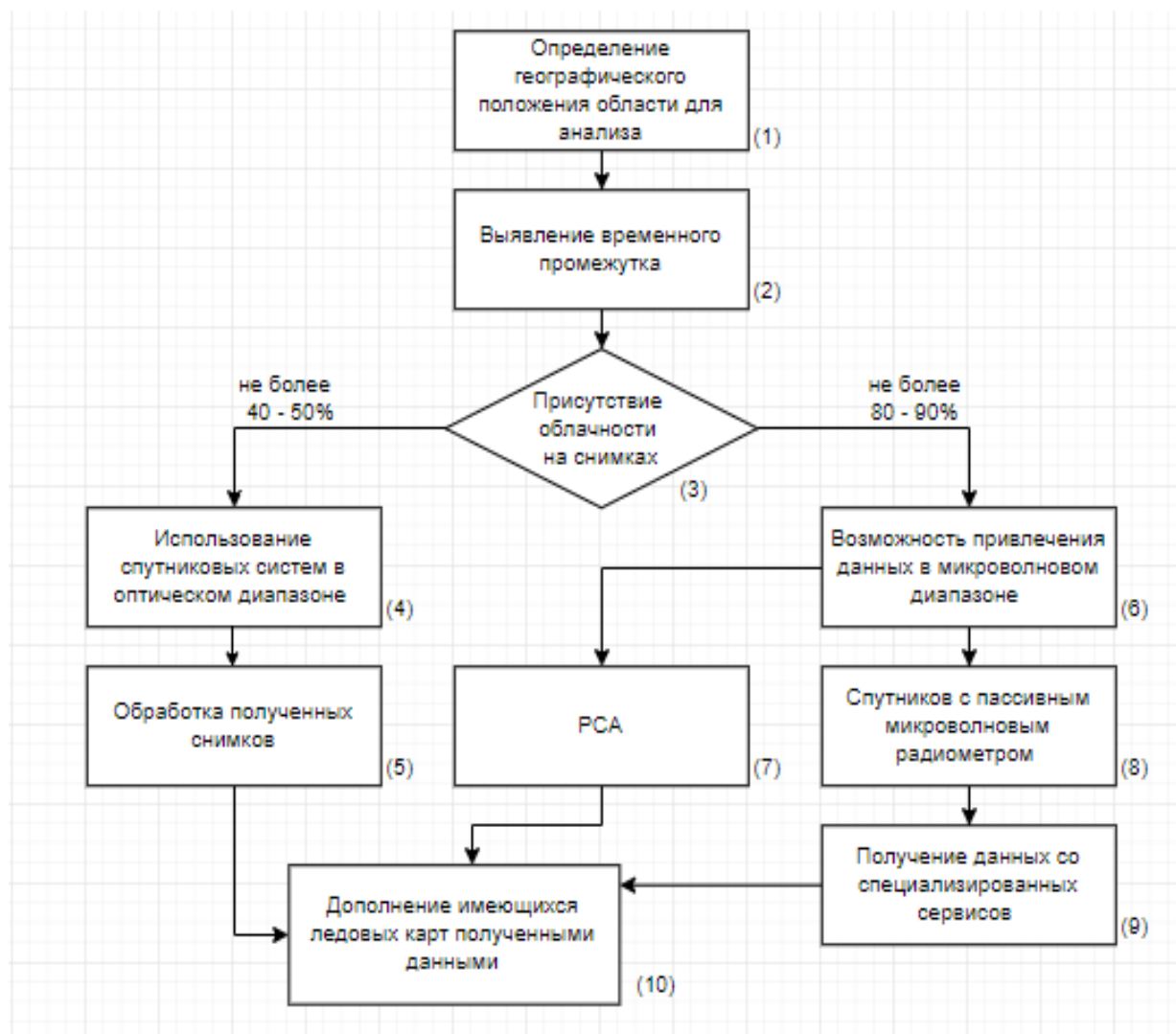


Рисунок 36 - Блок - схема анализа космических данных для части трассы СМП

Следующим пунктом в процессе предоставления информации для навигационного обеспечения трассы СМП является выбор временного отрезка (2), в котором будет производиться анализ. При использовании данных в видимом диапазоне следует знать, что территория Арктики зачастую закрыта облачностью. Это нужно учитывать при подборе снимков (3).

При использовании снимков в оптическом диапазоне, взятых с Terra/Modis, необходимо учитывать, что площадь, занимаемая облачностью, должна не превышать 40 - 50% (4). Иначе полученные данные будут содержать зна-

чительную погрешность, что не желательно для информации, которая в последующем будет использоваться для навигации судов в Арктике.

Данные оптического диапазона можно обрабатывать с помощью бесплатных и профессиональных программ (5). UNESCO Bilko, как пример бесплатного софта, позволяет строить разрезы и гistogramмы яркостей пикселей, с помощью которых можно определить относительную толщину льда, найти подводные острова, обозначив тем самым безопасный маршрут. Так же можно производить расчет сплоченности льда и высчитывать размер прогалин.

При использовании профессионального программного обеспечения - ScanMagic, можно получить данные о яркости пикселей в абсолютных значениях.

В случае, если на изображении площадь облаков больше, чем для пункта №4, но меньше 80 - 90%, присутствует возможность привлечения данных в микроволновом диапазоне (6). Далее идет выбор, привлечение данных со спутника с радаром синтезированной апертуры (РСА) (7), либо с пассивными микроволновыми радиометрами(8). В качестве примера данных в микроволновом диапазоне, в нашей работе представлен AMSR2 спутника GCOM-W1. Уже обработанные снимки можно получить на специализированных сайтах, либо у сторонних компаний, занимающихся работой с таким видом данных (9).

Полученные снимки не являются точными и не передают всей полноты ситуации, происходящей в Арктике. Они показывают лишь общую тенденцию процессов. Но если такие данные наложить на имеющиеся ледовые карты, можно более точно понять ситуацию на выбранном пути.

После обработки данных производятся дополнения существующих ледовых карт (10). Воспользовавшись обзорными ледовыми картами предоставляемые ААНИИ и дополнив их данными подвергшимся нашей обработке можно получить более точную информацию о состоянии интересующего нас района. Такие уточненные карты можно предоставлять капитанам судов для более безопасного прохождения их маршрута.

Вывод

Использование данных пассивного микроволнового радиометра позволило уточнить как данные оптических радиометров, так и ледовых карт. Приведенные снимки для этих спутников и их обработка показали опасность дрейфующего летнего льда, его возможного воздействия на суда в период начала навигации в этом районе. В отсутствие льда в проливе на снимках были выявлены опасные зоны и мели. Особо стоит обратить внимание на участок восточнее острова Большой Ляховский. Получены необходимые данные на стадии начала ледообразования и влияния ветра на новообразованный лед.

Приведенная блок-схема процесса анализа спутниковой информации может быть использована для района навигации, а вместе с текстовым описанием служить руководством для пользователя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы проанализированы данные о воздействии различных факторов на характеристики ледяного покрова в период начала и окончания навигации в Арктике.

Анализ, проводимый на этапе начала навигации выявил, что в проливе Дмитрия Лаптева возможно появление айсбергов. Это подтверждается имеющимися схемами среднего результирующего дрейфа льда за период апрель - март. Детектирование таких плавучих льдин с помощью дистанционного зондирования поможет в корректировке курса судов.

На этапе окончания навигации получены данные о начале ледообразования. Выявив время, когда пролив начнет покрываться льдом, следует ограничить доступ к этому району судам, не имеющим ледового класса, вследствие риска их серьезного повреждения льдом.

Приведены примеры дрейфа льда в пределах трассы СМП и рассмотрена возможность использования результатов для уточнения положения ледяных полей, и определения динамики мелководной прибрежной зоны.

Полученные данные в начале навигации позволили выделить поведение остаточных форм льда. При нажимном дрейфе ледяные поля остаются на мелководных участках, тем самым указывая их положение. Детализация таких участков способствует выделению зон, опасных для навигации, особенно для крупнотоннажных судов, в том числе в период отсутствия льда. Особо стоит уделить внимание прибрежным разводьям, образованным вследствие насаживания льда на мель. Когда весь пролив покрыт мелкобитым льдом, суда могут попытаться воспользоваться участками чистой воды. Но в большинстве случаев прибрежные разводья не имеют выхода и оканчиваются припаем. Даже если судно сможет развернуться в этом канале, его может забить битым льдом, тем самым закрыв судну выход.

Результаты анализа воздействия ветров разных направлений в период ледообразования и дрейфа остаточных ледяных полей могут способствовать облегчению ледовой проводки.

На примере в октября 2017 г. рассмотрен случай, когда при южном ветре ледяные поля дрейфуют к южному берегу острова Большой Ляховский и освобождают на короткий период южный участок пролива для навигации судов даже не имеющих ледового класса. Причем установлено, что в осенний период при понижении температуры происходит смерзание этих полей и увеличение ширины припая. При изменении направления ветра ледяные поля некоторое время могут оставаться в северной части пролива и будут мешать движению судов.

Дополнительная информация об использовании данных пассивных микроволновых радиометров позволяет уточнить как данные приборов видимого диапазона, так и информацию ледовых карт.

Приведенная блок-схема процесса получения спутниковой информации, дополненная текстовым описанием, может служить пользователям, как при обеспечении навигации в описанном районе, так и для других участков СМП.

Особое внимание следует обратить на пункты:

Использование псевдоцветных композитных изображений позволяет отличить снежно-ледяные поверхности от облаков.

При наличии доступа к специализированным сервисам следует иметь в виду, что данные пассивных микроволновых радиометров имеют недостаточное пространственное разрешение, указывая тенденцию ледовых процессов, а не количественные характеристики льда. Данные РСА имеют высокую стоимость, используются при построении ледовых карт высокого пространственного разрешения, которые поставляются по договорам при обеспечении ледовой проводки.

В итоге, при использовании полученных данных после анализа спутниковых снимков и ледовых карт может быть получена информация о ледовой обстановке для безопасного движения по трассе СМП, как обычных судов в навигационный период, так и в условиях ледокольной проводки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Александров Е. И., Иванов Н. Е., Харланенкова Н. Е., 2010. Климатические изменения в Арктике и Северной полярной области, Проблемы Арктики и Антарктики, № 1 (84), С. 67–80.
2. Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Мазуров-мл. А.А., Мамаев А.С., Матвеев А.М., Прошин А.А. Организация контроля за функционированием распределенных систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. №4. С. 34–41
3. Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И. и др. Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология // Океанология, 2000. Т. 40. №1. С. 148–155.
4. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.:ИКИ РАН, 2011. 15 с.
5. MODIS [Электронный ресурс] URL:<https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis> (дата обращения: 08.02.2018)
6. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.:ИКИ РАН, 2011. 26 с.
7. Митник Л.М., Митник М.Л., Заболотских Е.В. Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 135–141.
8. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. Изд.: Логос, Москва, 2001. 89 с.
9. Сычев В.И., Эдвардс А. Д. Введение в программное обеспечение для обработки спутниковых изображений. // Краткое руководство пользователя и

примеры практического использования программных продуктов ЮНЕСКО. СПб. - ЮНЕСКО: – 2008. 96 с.

10. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001г. 264 с.

11. Руководство пользователя. ScanMagic. Программа анализа и обработки изображений // Глава 1. Назначение и основные функции приложения. 2008. 4 с.

12. MODIS Subsets [Электронный ресурс] URL:<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/rapid-response/modis-subsets> (дата обращения 20.04.2018)

13. 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. 2016. 84 с.

14. Оперативные данные: Обзорные ледовые карты СЛО [Электронный ресурс] URL: <http://www.aari.ru/> (дата обращения: 19.04.2018)

15. Оперативные данные: Региональные ледовые карты Евразийской Арктики [Электронный ресурс] URL: <http://www.aari.ru/> (дата обращения: 19.04.2018)

16. Йоханнессен О.М., Александров В.Ю., Фролов И.Е., Сандвен С., Петтерсон Л.Х., Бобылев Л.П., Клостер К., Смирнов В.Г., Миронов Е.У., Бабич Н.Г. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. – Научные исследования в Арктике. Том 3. – СПб, Наука. 2007. 34с.

17. Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А., Колдунов Н., Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследования Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.

-
18. Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Александров Е. И., Иванов Н. Е., Харланенкова Н. Е., 2010. Климатические изменения в Арктике и Северной полярной области, Проблемы Арктики и Антарктики, № 1 (84), с. 67–80.
19. Пасечник Р. Е., Чеботарева А. Н., Абдураимов А. А., Дмитрюк П. Ю. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Изд.: Вершина, 2006. 150 с.
20. Mitnik L.M. Mesoscale atmospheric vortices in the Okhotsk and Bering Seas: Results of satellite multisensor study, In: Influence of Climate Change on the Changing Arctic and Sub-Arctic Conditions (NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security) by Jacques C.J. Nihoul and A.G. Kostianoy (Editors), Springer, pp. 37–56, 2009.
21. Фролов И. Е., Гудкович З. М., Радионов В. Ф. Научные исследования в Арктике // Санкт-Петербург, Наука, 2005. 98с.
22. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии // Новые идеи в океанологии. М.: Наука. 2004. С. 55–117.
23. Rasmussen E., Turner J. Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 612p, 2003.
24. Дунайская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. // Глава 2. Ледовые условия в море Лаптевых. М. – Обнинск: – 2017. 125 с.
25. Наблюдение за ледовой обстановкой: учебное пособие. – СПб.: ГУ "ААНИИ", 2009. – 15с
26. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 148 с.
27. Лупян Е. А., Мазуров А. А., Назиров Р. Р., Прошин А. А., Флитман Е. В., Крашенинникова Ю. С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26–43.

28. SeaIce Conncentration Visualization Service of Horizontal scale Observations at Polar region [Электронный ресурс] URL:<https://ads.nipr.ac.jp/vishop/#/gallery/&time=2018-05-29%2000:00:00> (дата обращения: 29.05.2018)

29 SeaIce Thickness Visualization Service of Horizontal scale Observations at Polar region [Электронный ресурс] URL:<https://ads.nipr.ac.jp/vishop/#/gallery/&time=2018-05-29%2000:00:00> (дата обращения: 29.05.2018)

30. Тихонов В.В., И.А. Репина, М.Д. Раев, Е.А. Шарков, Д.А. Боярский, Н.Ю. Комарова. Комплексный алгоритм определения ледовых условий в полярных регионах по данным спутниковой микроволновой радиометрии (VASIA2). // Исследование Земли из космоса. 2015. № 2. С. 78–93