



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

Кафедра ПО и ОПВ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

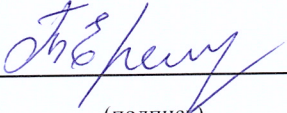
На тему Изменчивость Обь - Енисейской полыньи и припая Обской губы за
2010- 2015 года, по спутниковым данным

Исполнитель Ковалев Григорий Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гордеева Светлана Михайловна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

Кандидат физ.-мат. наук
(ученая степень, ученое звание)

Еремина Татьяна Ремовна
(фамилия, имя, отчество)

«19» июня 2017г.

Санкт-Петербург
2017



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

Кафедра ПО и ОПВ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

На тему Изменчивость Обь - Енисейской полыньи и припая Обской губы за
2010- 2015 года, по спутниковым данным

Исполнитель Ковалев Григорий Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Гордеева Светлана Михайловна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физ.-мат. наук

(ученая степень, ученое звание)

Еремина Татьяна Ремовна

(фамилия, имя, отчество)

«___» _____ 20__ г.

Санкт–Петербург

2017

Содержание

	Стр.
Введение.....	3
1 Гидрологические особенности Обской губы.....	4
2 Ледовый режим рек северной части России: термины и определения.....	10
3 Основные методы и принципы дешифрирования объектов на спутниковых изображениях.....	12
3.1 Основные признаки и принципы дешифрирования ледяного покрова и его характеристики.....	15
3.2 Характеристики при дешифрировании видов льда по их возрасту.....	16
3.3 Пример результата при помощи дешифрирования морских льдов.....	26
4 Анализ изменчивости Обь-Енисейской полыньи и припая Обской губы.....	27
4.1 Обработка и анализ спутниковых данных.....	27
4.2 Анализ спутниковых данных SIOWS.....	30
4.3 Статистический анализ характеристик ледовитости Обской губы и оценка связи с метеорологическими параметрами....	33
Заключение.....	43
Список использованных источников.....	44
Приложение А. Данные и значения расчетов площадей льда по выбранным периодам	46
Приложение Б. Спутниковые снимки за период 1-ого случая динамики ледовой поверхности в 2010 году, и за период 2-ого случая в 2016 году.	49

Введение

Район Обской губы, наиболее интересен для исследования из-за своего географического положения. Это самый крупный залив Карского моря, эстуарий реки Обь, расположен между полуостровами Гыданский и Ямал. Он освобождается ото льда примерно на три месяца в году, что создаёт сложность для логистических целей. Но тем менее район привлекает своими нефтяными и газоконденсатными месторождениями, не только исследователей, но и крупнейшие компании. Например, ПАО ГАЗПРОМ нефть планирует построить новый порт на мысе Каменный в Обской губе. Таким образом, район Обской губы становится стратегически и социально-экономически важным для развития севера России. Но на данный момент, к сожалению, район считается мало изученным с научной стороны. Так что, разработка новых научных методов мониторинга и моделирования гидродинамической обстановки является важным условием обустройства станций добычи сырья на месторождениях.

Цель работы – исследование динамики Обь-Енисейской полыньи и припая Обской губы за 2010- 2015 гг. по спутниковым данным.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи.

1. Изучить гидрологические особенности Обской губы и её ледовый режим;
2. Изучить основные методы и принципы дешифрирования ледовых образований на спутниковых изображениях.
3. Провести анализ спутниковых снимков Обской губы за период 2010-2015 гг., выделить основные параметры ледового режима.
4. Сделать статистический анализ параметров ледового режима Обской губы, выявить метеорологические факторы, обуславливающие их изменчивость.

1 Гидрологические особенности Обской губы

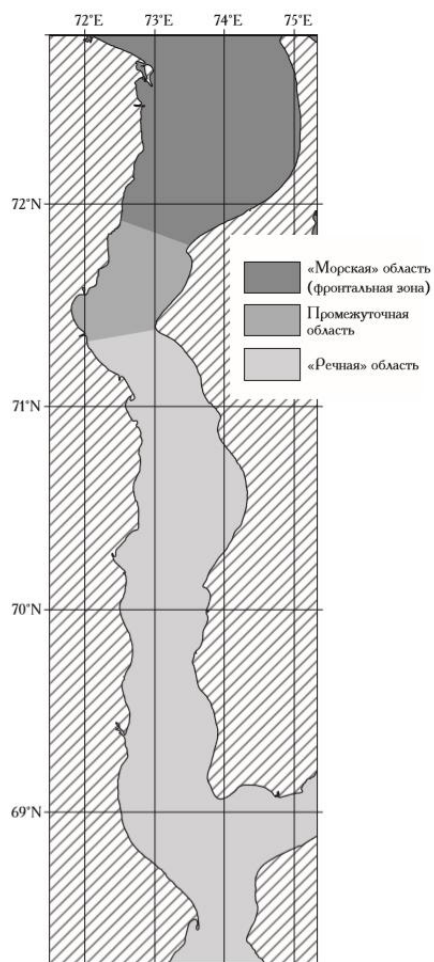


Рисунок 1.1 – Районирование акватории Обской губы [3]

реки (Рисунок 1.1)[3].

Северное положение Обской губы объясняет средний в году 9 месячный период ледостава. Река Обь поставляет в губу 75,8 % от общего стока (530 км³). По типу питания снеговой поставляет 55%, дождь приносит реке 25% и грунтовые воды вносят в реку оставшиеся 20%. Значительная часть водосбора реки является сильно заболоченной, что приводит к высокой природной нерегулируемости речного стока. Что приводит к растянутому весенне-летнему периоду половодья, а при учете малого количества дождя в осенний период, летняя межень становится мало выраженной (Рисунок 1.2). С на-

Обская губа или эстуарий реки Обь, это гигантская устьевая часть северной реки Обь, уникальная в своем виде и являющаяся частью одновременно Оби и Карского моря. Глубина эстуария Оби не сильно большая, в южной части от 3-6 м, а в северной от 20 до 25 м, по длине Обская губа составляет больше 800 км, а её ширина варьирует от 30 до 90 км. Площадь водной поверхности составляет 55,5 тысяч км², а объем около 445 км³.

Благодаря тому, что Обь имеет большую протяженность с юга на север, река имеет богатый неоднородностью гидрологический режим. И делится, как правило, на три части: самую южную или морскую область, промежуточную – включающую в себя населенные пункты Томбей и Сабетта, и речную область, простирающуюся вглубь

чала октября и всю зиму река начинает питаться в основном за счёт грунтовых вод, соответственно сильно сокращая её сток в этот период.

По данным наблюдений последних 70 лет (группа анализа водных систем –WaterSystemsAnalysisGroup — при Университете Нового Хэмпшира, США [3],расход воды у Оби в 1979 году составлял 572 км³, поэтому 1979 год был назван самым полноводным годом. Ведь он превысил почти вдвое расход наименьшего по полноводности 1961 года с расходом 267 км³. Что говорит нам о том, что гидрологический режим Обской губы очень сложен, неоднороден, и создает много проблем, сильно усложняющих задачу ее моделирования.

Многолетняя мерзлота присутствует только в тундровой зоне бассейна реки, в то время как ее таежные и лесостепные части покрытые болотами, питают реку в меженный период.

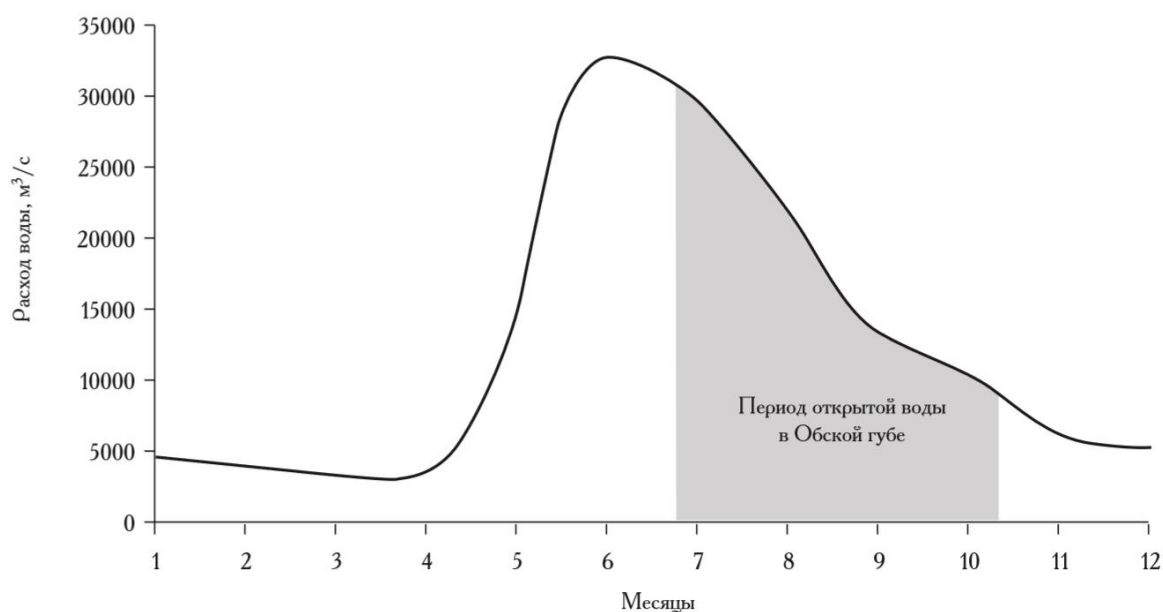


Рисунок 1.2 – Внутригодовое распределение стока реки Оби в устье по средним многолетним данным[3]

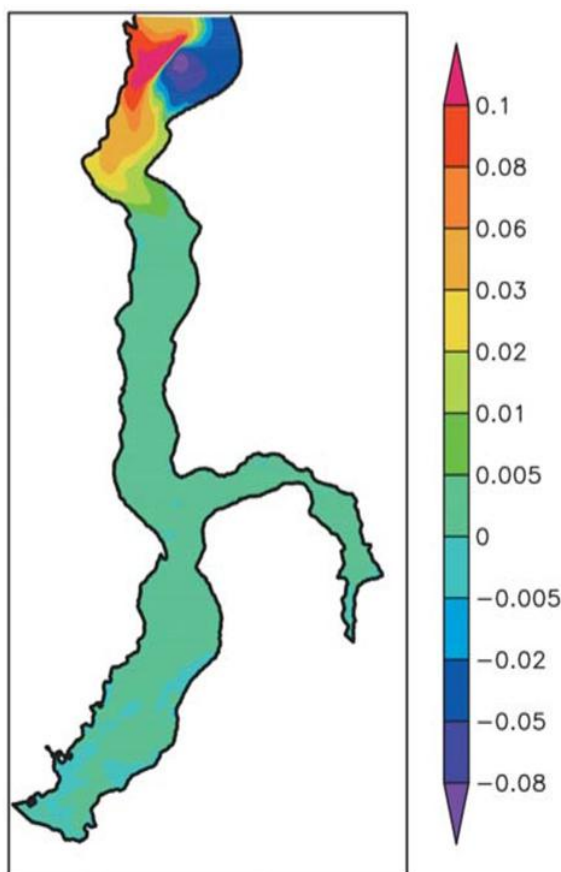


Рисунок 1.3 – Среднегодовая концентрация солёности S осредненная по глубине [4]

С юго-востока в Обь впадают иприносят пресную воду, реки Надым и Ныда. С запада впадают реки Оя, Ивоча, Зеленая и Яда. А с востока в Тазовскую губу впадают реки Таз и Пур. И понятное дело, что эти грунтовые речки играют очень важную роль в гидрологическом режиме Обской губы. Южные реки Обской и Тазовской губы образуют целую сеть разветвленных источников, включая в себя озера и болота, обеспечивающие реку пресной водой. Таким образом, ясно, что южная часть Обской губы пресноводная (Рисунок 1.3). В то время как, средняя часть губы осолоняется зимой очень незначительно. А в се-

верной части и во все речной сток подстиляется соленой морской водой.

Температурный режим Оби определяется тепловым стоком южной её части, ведь в летний период наблюдается высокий прогрев вод. Важно отметить, что летом в Обской губе температура воды может быть выше температуры воздуха, это обусловлено ее тепловым стоком. Так южная часть Обской губы в летний период прогревается очень хорошо и такой период, как правило, длится с конца июня по конец октября. Температуры в периоды с июля по август в среднем достигают 12-13,5 °C. В то время как, в северной части Обской губы присутствует стратификация температуры, и температура в придонном слое может быть равна 0 а то и вообще быть отрицательной (Рисунок 1.4). А суммарное значение градусодней в периоды открытой воды составляют в среднем 1056[4].

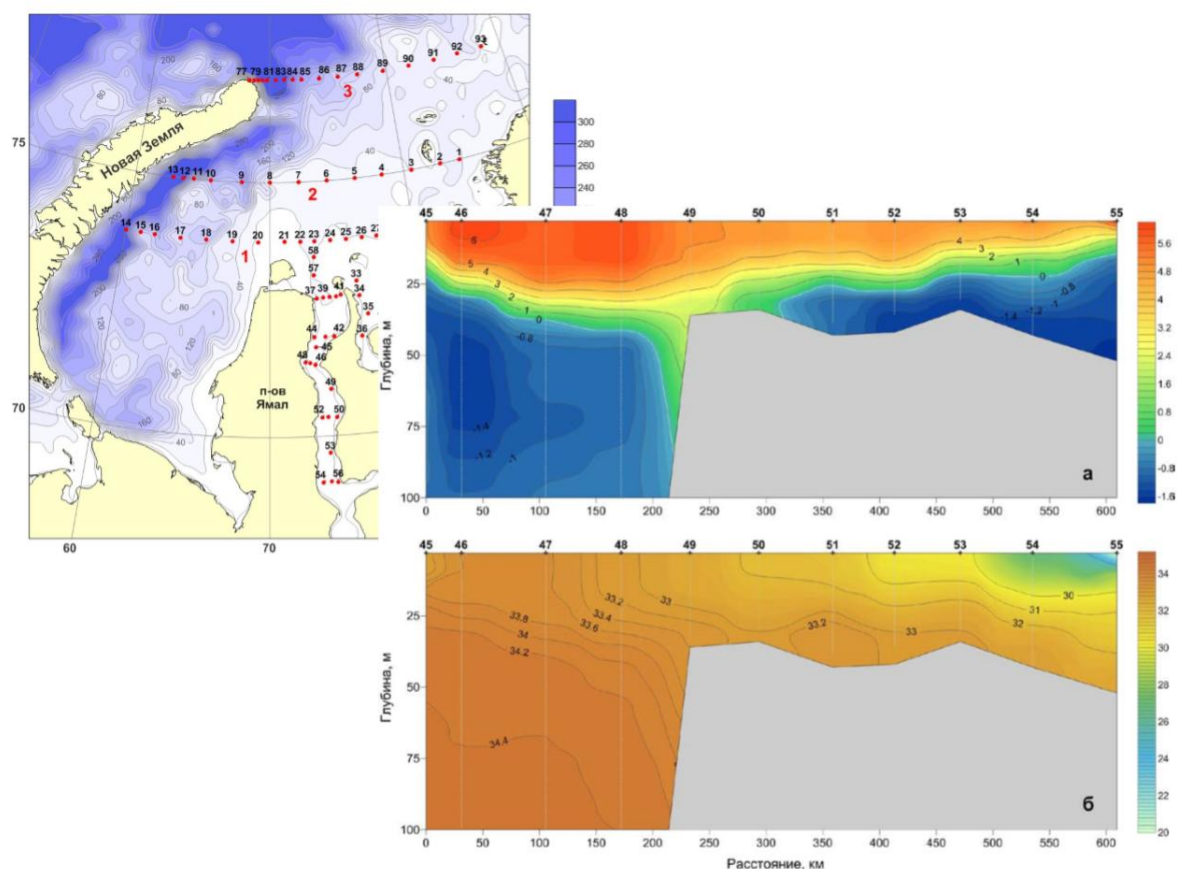


Рисунок 1.4 – Распределение температуры (а) и солёности (б) в верхнем слое на разрезе 75 ° с.ш. в Обской губе и Карском море за 2012 год[7]

Течения в Обской губе присутствуют трех типов: квазипостоянные – те что направляются вдоль с юга на север образуясь за счет стока впадающих в Обь рек, а так же приливные и ветровые течения. Скорость течения на юге Обской губы в среднем достигает 20-25 см/с, а в периоды половодья достигает 30 см/с. В северной части, где стоит порт Сабетта, и дальше на север скорости достигают всего 10 см/с, а то и меньше, это вызвано природными особенностями течений протекающих у побережья, их направление не совпадает с направлением основного стокового течения реки (Рисунок 1.5). Такая особенность приводит к формированию зоны сдерживания воды. Расстояние такой зоны обычно зависит от расхода рек впадающих в Обь.



Рисунок 1.5 – Элементы гидро- и литодинамики в северной части Обской губы [5]

имеющие среднюю скорость от 5 до 7 м/с. Осенью, в сентябре-октябре, доминируют ветра западного направления [5].

Ледяной покров начинает образовываться, как правило, в середине осени на юге Обской губы. Из-за постоянной изменчивости уровня воды и различных ветровых факторов становление льда в Обской губе происходит не равномерно. В южной и средней части губы полное покрытие льдом должно произойти к началу ноября, но может затянуться и до конца декабря. Лед на юге Обской губы обычно достигает толщины однолетних толстых льдов, от 120 см до 205 см. В средней части губы, вблизи порта Сабетта, лед достигает толщины 170 см. А в наиболее северной её части, лед с изменяю-

Дрейфовые течения Обской губы имеют большее значение, потому что их направленность и скорость напрямую зависит от направления ветра. С середины осени по конец весны в этом районе ветер дует с юга или юго-запада, со средними скоростями примерно от 6 до 9 м/с. Но, так как в это время река затянута льдом, ветер не играет большую роль в формировании течений, а оказывает большое влияние на формирования полыней. С началом вскрытия реки ото льда в летнее время (июнь-август) направление меняется на северные и северо-западные ветра,

щейся толщиной от 5 до 40 см, полностью покрывает водную поверхность только к январю.

По данным с метеостанций, уровень снежного покрова в портах и на прибрежных участках может максимально достигать 50-70 см. Под конец зимы снег преобразуется в прочный настил.

Вскрытие льда в Обской губе начинается постепенно, начиная с ее северной части, образованием отрывов припая, полыней и заберегов в конце весны и в начале лета. На юге вскрытие приходится на конец июня. В средней же части Обской губы вскрытие происходит в начале июля, а полностью губа освобождается ото льда в середине августа. Полное очищение Оби ото льда происходит сравнительно долго, так как, присутствуют различные батиметрические факторы, а так же в районах мыса Каменного, Таран или Трехбугорного создаются заторы льда, почти полностью останавливающие освобождение реки ото льда из более южных участков Оби [5].

2 Ледовый режим рек северной части России: термины и определения

Для рек началом фазы зимнего режима, как правило, принимают установление отрицательных температур воздуха и охлаждение воды до 0°C , с последующим появлением ледовых образований. Такими ледообразованиями является, например *сало*, *забереги*, *припай* и другие *начальные виды льда*, характерные для образования на реках[9].

Забереги—это неподвижный лед, прикрепленный у одного или обоих берегов реки.

Припай — это вид неподвижно льда, расположенный вдоль берега, и прикрепленный к отмели. Он может, распространяться, на несколько метров или несколько сотен километров от береговой линии.

В связи с постоянным перемешиванием общего потока масс в реках температура воды выравнивается по всей толще потока, что приводит к понижению температуры по всему сечению до 0°C и иногда даже до отрицательных показателей. Такие условия создают благоприятный рост кристаллов льда вокруг взвешенных частиц наносов и у дна реки.

В результате соединения кристаллов льда в общую массу образуется *внутриводный лед*(*внутриводный лед это мутная масса, из беспорядочно разрастающихся кристаллов льда, напоминающая губку*), преобразующийся в донный лед. Далее, общая масса донного льда всплывает на поверхность, и становится шугой, и вместе со снежурой эта масса продолжает смерзаться в более плотные виды льда, образуя ледяные поля заполняющие поверхность реки. Так начинается фаза *осеннего ледохода*.

Осенний ледоход это процесс формирования ледяного материала по всей ее толще, накопление ледяного материала в местах излучин перекаатов обмелений и т.д.

За конец зимней фазы принимают время начала первой интенсивной прибыли весенней воды. Обычно период ледовых явлений рек разделяют на три характерные части:

- 1) Замерзание реки;
- 2) Ледостав;
- 3) Вскрытие.

Ледостав речной зоны. С возрастанием количества льдин разных размеров и из численности свобода и скорость перемещения льда на реке уменьшается, что в условиях низких температур приводит к смерзанию льда и образованию общего ледяного покрова, то есть *ледостава*. Но даже при образовании *ледостава* может получиться так, что отдельные участки реки не смогут замерзнуть. Эти незамерзшие участки называются *попыньей* (*попынья это участок открытой воды между частями ледяного покрова, чаще всего встречается у припая, или в разводьях между ледяных полей*). Образовываться *попынья* на реках может вследствие быстрых течений, или из-за попадания в русло рек теплых водных масс нагретых атмосферой или подземным теплом, так же возможен антропогенный вариант их возникновения.

Вскрытие реки. С наступлением весны и положительных температур, лед начинает таять и в реку поступает талая вода. Из-за чего количество воды в реке быстро увеличивается, таким образом, лёд у берегов и снежный покров всего ледяного покрова, оказывается под теплой водой и постепенно разрушается. Так начинается весенний ледоход, льды под влиянием течения приходят в движение, и по течению реки выносятся за ее пределы. Продолжительность Зимнего периода будет зависеть от климатических условий рассматриваемого района бассейна реки [9].

3 Основные методы и принципы дешифрирования видов льда на спутниковых изображениях

Основным источником информации о ледовой обстановке являются спутниковые изображения, съемка которых выполняется при помощи процесса отражения (а так же процессов поглощения и рассеяния) света, тепла и других факторов, от поверхности. При построении карт ледовой обстановки, используются снимки в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах, имеющих различную длину волны (Рисунок 3.1).

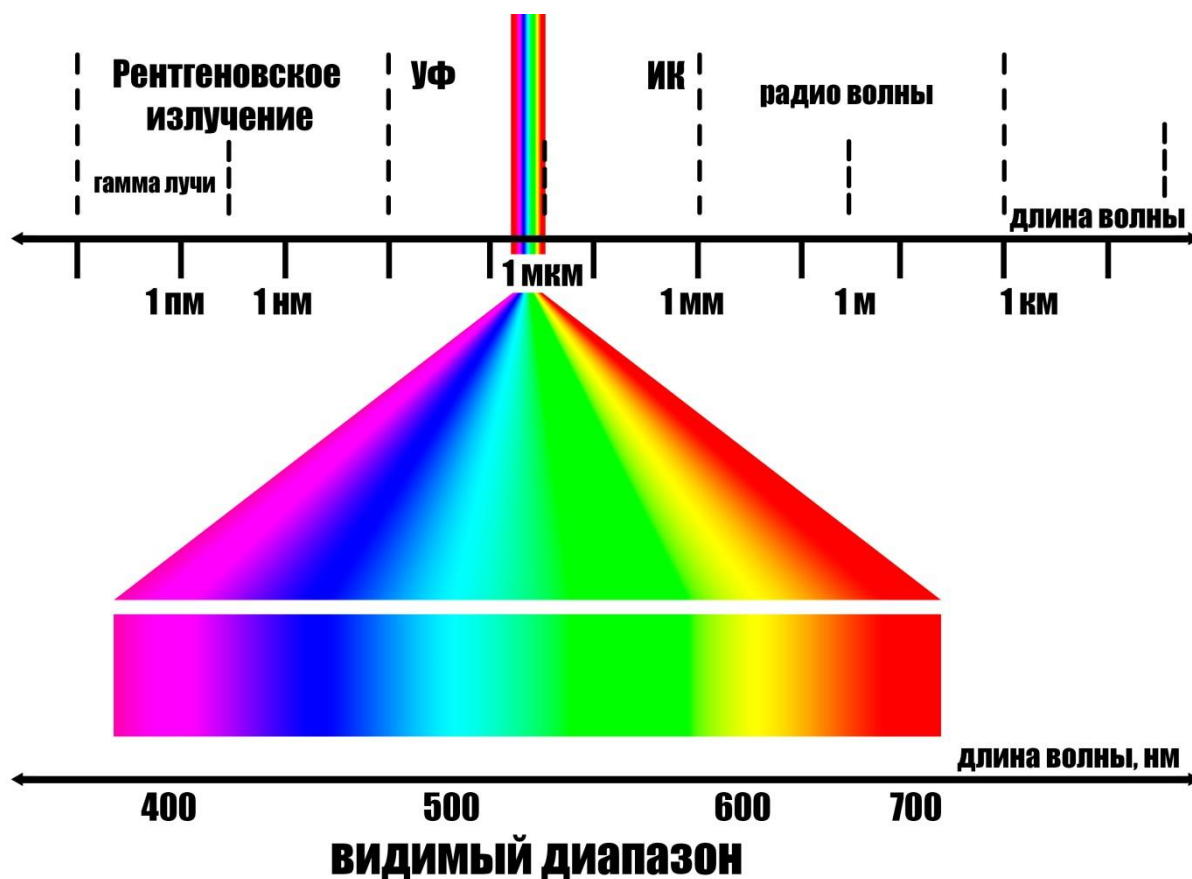


Рисунок 3.1 – Схема изображающая виды спектральных диапазонов (авторское изображение)

Съемка производится при помощи современных ИСЗ (искусственных спутников земли) к примеру, спутники MODIS, Landsat и др. Рассмотрим на примере спутника MODIS количество каналов съемки. У данного спутника

36 спектральных зон видимого, ближнего, среднего и теплового инфракрасного диапазонов с пространственным разрешением 250, 500 и 1000 метров и радиометрическим разрешением - 12-бит на канал (Таблица 3.1) [14].

Таблица 3.1–Характеристики и область применения данных MODIS [14]

Основные характеристики и область применения данных прибора 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
Водяной пар в атмосфере	16	1000		0.862 - 0.877
	17	1000		0.890 - 0.920
	18	1000		0.931 - 0.941
Температура земной поверхности и облаков	19	1000		0.915 - 0.965
	20	1000		3.660 - 3.840
	21	1000	TIR (тепловой инфракрасный)	3.929 - 3.989
	22	1000		3.929 - 3.989
Температура атмосферы	23	1000		4.020 - 4.080
	24	1000		4.433 - 4.498
	25	1000		4.482 - 4.549
Водяной пар в атмосфере	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

Таким образом, для дешифрирования поверхности льда используется *спектральный анализ* - ряд методов качественного и количественного определения свойств и состава объектов, основанный на изучении спектров взаимодействия её с излучением, включая спектры электромагнитного излучения, акустических волн, распределения по массам и энергиям элементарных частиц и др.

Кроме того, при анализе ледовых условий используются данные о ледовых условиях (сплоченности, толщине и торосистости) льда, получаемых с полярных станций, ледоколов и транспортных судов. Таким образом, происходит валидация (это процесс приведения доказательств того, что требования конкретного пользователя продукта, услуги или системы удовлетворены) спутниковых изображений.

Для дешифрирования в весенне-летний период (с 1 июня по 1 октября) используются только РЛ и видимый диапазоны. Использование ИК диапазона не подходит, потому что, в этот период температура поверхности имеет слабую контрастность между льдами разной толщины (а значит и разного возраста). В зимний период (с 1 октября по 1 марта) используются ИК и РЛ диапазоны, а с 1 марта – также и ТВ диапазон. Как правило используют комбинирование каналов для того, что бы избавиться от проблем видимости поверхности из-за облачности или отсутствия солнечного света в связи с полярной ночью.

Использование только ИК диапазона для оперативной работы имеет еще и недостатки из-за трудного различия поверхности закрытой облаками. Уменьшение контрастности между льдами разной толщины и возраста в РЛ и ТВ диапазонах происходит в северном полушарии в периоды таяния льдов с мая по октябрь. По мере таяния происходит распадение полей сморози, затем поверхность льда покрывается водой, а затем уже в июле-августе и сентябре лед разрушается окончательно.

3.1 Основные признаки и принципы дешифрирования ледяного покрова и его характеристики

Представленные методы дешифрирования, разрабатываются специалистами России и других стран, начиная с 60-х годов прошлого столетия. Существует три основы, или три признака из которых состоит дешифрирование морского льда по спутниковым изображениям (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Признаки дешифрирования

Прямые признаки – к ним относятся тон и тональная структура объектов на изображении. А так же их формы и размеры. Тональность изображения определяется отражательной способностью, и количеством оттенков в изображении.

В видимом диапазоне тональность сильно зависит от альбедо, поэтому толщина льда и его возраст определяют его цвет. Чем тоньше, тем темнее. Заснеженный и торосистый лед имеет максимальное альбедо, а тающий, покрытый снежниками - минимальное.

В инфракрасном и РЛ диапазонах, снимки представляются в черно-белом цвете. В ИК диапазоне тональность зависит от температуры излучения поверхности, а значит чем тоньше лед, тем теплее его поверхность, и темнее тон.

Но морской лед является сложной поликристаллической смесью, с добавлением рассола, взвешенных частиц и воздуха, обычно прикрытого снегом. Обратное рассеяние подобного объекта будет зависеть от большого ко-

личества факторов, таких как шероховатость поверхности, торосистость поверхности, влажность, соленость, кристаллической структуры, формы снежного покрова, и прочего. Таким образом, конечный снимок будет выглядеть как набор полей и линий, различающихся по цвету и форме.

Форма и размеры ледяных образований являются одними из важнейших признаков дешифрования льда. Например, нилас не имеет форм, а поля однолетнего льда могут достигать размеров от 0,5 до 30 км. Поэтому-то и необходимо знать особенности и размеров некоторых видов льда. По этим признакам можно определять не только его толщину, но и возраст, ведь с увеличением толщины поля, возрастает и его горизонтальный размер. Например, вытянутая угловатая форма характерна для (тонкого) однолетнего серо-белого льда, более округлая и значительно протяженная, для толстого однолетнего льда [10.].

3.2 Характеристики при дешифрировании видов льда по их размеру

Размеры морских льдов (в соответствии с Номенклатурой морских льдов 1974 года в России) [10]:

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

К *косвенным признакам* относится географическое место положения объектов и их связь между собой. Например, образование вытянутых полыней за островами, или след судна во льдах.

Не менее важными являются *логические признаки* к ним относятся знания ледового режима, постоянный мониторинг ледовой обстановки, который помогает наблюдателю более правильно определять характеристики

льда. Например, изображение пресных речных льдов в устьях сибирских рек похоже на изображения многолетних льдов. Очевидно, что в устье реки Обь многолетних льдов быть не может [10].

Характеристики видов льда при дешифрировании по их возрасту:

Начальные виды льда делятся на несколько видов: *снежура*, *шуга* - выпадение снега на поверхность воды, которое образует однородную кашу мокрого снега, удерживающуюся на поверхности (Рисунок 3.3).

Ледяное сало образуется из замерзания на поверхности вод ледяных кристаллов или из снежуры (Рисунок 3.4) и дешифрируется во всех трех каналах. При дешифрировании начальных видов льда в видимом диапазоне, мы увидим поля с не ярко выраженными границами, и имеющими чуть более светлый тон, чем у открытой поверхности воды. На изображениях РЛ диапазона, льды будут иметь темно-серый тон и размытыми границами.



Рисунок 3.3 – Снежура на поверхности волн (США, фотограф Джонатан Ниммерфрок)



Рисунок 3.4 – Начальные виды льда – ледяное сало (2-ая декада апреля 2004 г., Баренцево море)

Блинчатый лед – образуется при воздействии на снежуру и шугу, сильного ветра или волнения (Рисунок 3.5). *Блинчатый лед* представляет собой ледовые образования округлой формы, и может достигать толщины 30 см и горизонтальных размеров от 0,3 до 3 метров. Дешифрируется во всех трех каналах, и имеет хорошо видимый светлый тон (на РЛ-снимках светло-серый). По форме блинчатый лед напоминает поля в виде спиралей.

Ниласовые льды. Образовавшиеся из начальных льдов, ниласовые льды очень пластичны, имеют толщину от 1 до 10 см, поэтому легко изгибаются при волнении и не ломаются. Однако в дальнейшем при сжатии происходит зубчатое наложение льда друг на друга, из-за этого увеличивается его толщина (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.5 – Блинчатый лед (<http://yuklama.ru/qiziqarli/2309/smithsonian-photo-contest-2016--ajoyib-foto-musobaqasining-finalchilari.php>)



Рисунок 3.6 – Зубчатое наслоение друг на друга ниласовых льдов. (Конец первой декады апреля 2011 г.)(<https://www.polartrec.com/expeditions/seawater-property-changes-in-the-southern-ocean/journals/2011-04-10>)

Ниласовые льды делятся на два типа, темные (1-5 см) и светлые (5-10 см). В видимом и ИК диапазоне лед отражается темно-серым и серым то-

ном. Часто они представляются каналами и разводьями между полями более толстого молодого или однолетнего льда (что позволяет отличать ниласовые льды от поверхности воды). В РЛ диапазоне льды в каналах можно перепутать с однолетним тонким льдом, так как они будут иметь одинаковую тональную структуру. Для решения этой проблемы нужно использовать снимки за 4 или 3 дня, чтобы проследить за видом образования.

Серые льды. Серый лед толщиной 10-15 см имеет уже форму полей и обломков битого льда (Рисунок 3.7). Он имеет свойства наслаиваться друг на друга при сжатии, при этом он менее пластичный, чем ниласовые льды, и хорошо ломается на волнах. Стоит отметить, что если из-за волнения образуются поля битого серого льда, то он почти не отличим от блинчатого льда (необходимо указывать оба вида льда). Но в РЛ диапазоне лед дешифрируется хорошо, и имеет светлый, близкий к белому тон.



Рисунок 3.7 – Поля и обломки серого льда с наслоениями (Первая декада апреля 2010 года, Баренцево море)[16]

Серо-белые льды. Лед с толщиной от 15 до 30 см, то есть лед имеет малую пластичность и при деформации лед вздымается и торосится (Рису-

нок 3.8). Серо-белые льды выстраиваются в поля вытянутой формы размерами от 5 до 10 км в длину. При дешифрировании в ИК и ТВ диапазонах лед представлен в виде больших вытянутых полей серо-белого цвета с горизонтальными размерами до 1-2 км. На РЛ-снимках тон изображения более яркий (светло-серый).



Рисунок 3.8 – Поля серо-белого льда толщиной 25 см и торосистостью 1-2 балла (Первая декада апреля 2010 года, Баренцево море) [16]

Однолетние тонкие льды. Льды толщиной 30- 70 см, образующиеся примерно за один месяц, после начала ледообразования (Рисунок 3.9). Поля однолетнего тонкого льда имеют угловатую форму размером 0,5-10 км. В его дешифрировании есть некоторые особенности. В ИК диапазоне мы видим его поля изрезанные торосами от 1 до 5 баллов, что может представлять его как в сером тоне (3 балла), так и в белом тоне (4-5 балла) так как при этом толщина в торшении может быть до 2 метров. Поэтому льды легко перепутать с однолетними средними льдами. А в РЛ диапазоне лед будет представлен как поле с пятнами светлого и темного тона в зависимости то торосистости.

При дешифрировании однолетних льдов необходимо использование дополнительных источников информации (косвенные признаки). Например, толщину льда по данным полярных станций и число градусо-дней мороза, а также данные судов и ледоколов, передаваемые в диспетчерских телеграммах в адрес копаний, пароходств и гидрометеорологических организаций.



Рисунок 3.9 – Поля однолетнего тонкого льда (Первая декада апреля 2010 г., Баренцево море, толщина льда 30-40 см, торосистость 1-2 балла) [16]

Однолетние средние льды. Средние однолетние льды толщиной 70-120 см, и образуются примерно к середине зимы (в Арктике это январь-февраль). Размеры полей сморози, округлой и вытянутой формы, могут достигать 15 км. Льды в среднем имеют торосистость 2-3 балла, а торосы достигают 1,5-3 м (Рисунок 3.10-3.11).

По снимкам в ИК и ТВ диапазонах однолетние средние льды изображаются в виде полей белого тона. Зимой при анализе в РЛ диапазоне сложно отличить однолетние средние от тонких льдов, поэтому нужно сравнивать их с ИК диапазонам, так как, в нем средние льды отличаются более светлой тональностью по сравнению с тональностью тонких льдов. На РЛ снимках лед

представлен в темно-сером цвете с яркими пятнами белого тона, что соответствует торосистым участкам.

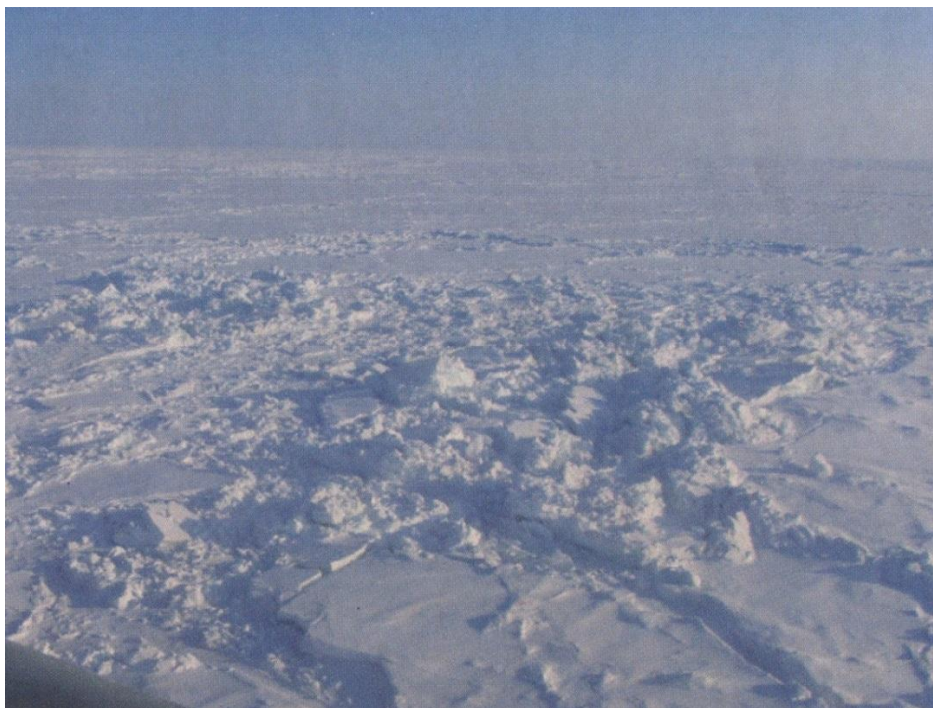


Рисунок 3.10 – Поле сморози однолетнего льда сверху фотографии и однолетнего толстого льда снизу фотографии (Вторая декада апреля 2005 года, Баренцево море) [16]



Рисунок 3.11 – Поля сморози однолетнего среднего льда (вторая декада апреля 2003 года, Баренцево море, торосистость 2-4 балла) [16]

Однолетние толстые льды. Этот тип льдов имеет толщину более чем 120 см. Размеры полей сморози, округлой и вытянутой формы, достигают 20 км и более. Торосистость этого льда варьирует от 1 до 5 баллов, с высотой 0,5-2,5 м (Рисунок 3.12-3.13).

При дешифрировании однолетнего толстого льда необходимо использовать совместно ИК и видимый диапазоны, а также данные полярных станций и судов. На РЛ снимках тон льда имеет темно-серый тон, а границы полей можно хорошо выделить благодаря многочисленному торошению по краям поля. (Стоит добавить, что при торошении в 5 баллов отличить тонкие, средние и толстые льды, друг от друга, используя только РЛ снимки невозможно.)



Рисунок 3.12 – Поля сморози и обломки однолетнего толстого льда (Вторая декада июня 2010 года, Арктический бассейн, торосистость 2-3 балла) [16]

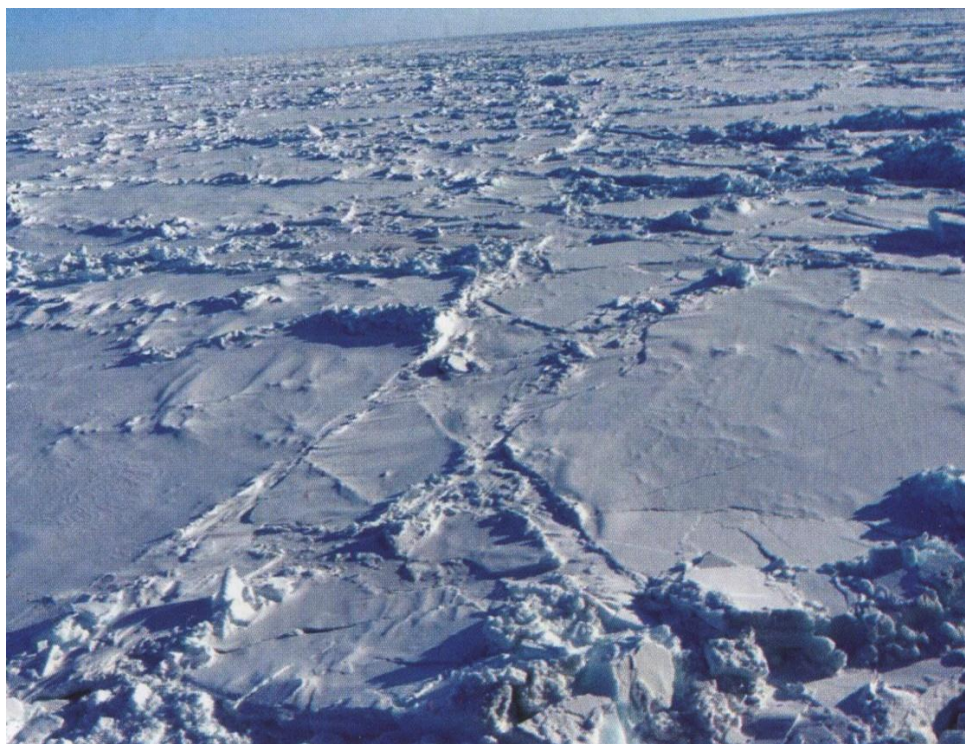


Рисунок 3.13 – Поле однолетнего толстого льда (С торосистостью в 3 балла, высотой торосов 1-1,5 м и высотой снежного покрова 15-20 см)[16]

Старые льды делятся на три типа, остаточные однолетние, двухлетние и многолетние льды.

Остаточные однолетние льды – это льды, которые так и не растаяли за летний сезон и сохраняются к новому ледообразованию (Рисунок 3.14). С наступлением зимнего сезона (1-ого января) эти типы льда переходит в стадию двухлетних льдов. Толщина остаточных льдов обычно составляет от 20 до 70-90 см. Эти льды хорошо дешифрируются на ИК и РЛ снимках.

Двухлетние льды и многолетние льды. К двухлетним льдам относятся льды прошедшие не менее двух процессов таяния. Эти льды уже более опресненные по сравнению с однолетними льдами. *Двухлетние льды* имеют толщину 160-250 см.

Многолетние опресненные льды имеют толщину 250-400 см. По данным спутниковых и ТВ, ИК и РЛ изображений двухлетние и многолетние льды невозможно отличить, поэтому их принято объединять в "старые льды"[16].



Рисунок 3.14 – Старый остаточный лед с торосами (<https://unsplash.com/>)

3.3 Пример результата при помощи дешифрирования морских льдов

Результатом дешифрирования поверхности морского льда является “обзорная всепогодная карта ледовой обстановки” за указанный период в указанном районе. Пример подобной карты (Рисунок 3.15). Карта, выполненная с использованием всех правил номенклатуры морских льдов (1974)....

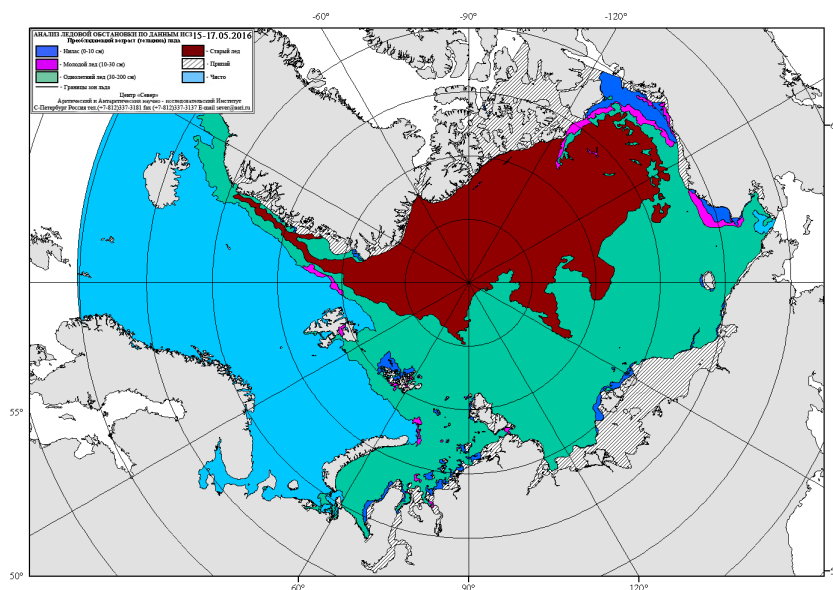


Рисунок 3.15 – Подробная карта ледовой обстановки за 15-17 апреля 2016 года [15]

4 Анализ изменчивости Обь-Енисейской полыньи и припая Обской губы

4.1 Обработка и анализ спутниковых данных

В представленной работе будут указаны несколько методов обработки спутниковых изображений для дешифрирования ледовой обстановки. С помощью сервиса [Earthexplorer.usgs](http://earthexplorer.usgs.gov), была выбрана сцена в районе Обской губы в северной ее части 15 апреля 2016 года (Рисунок 4.1 [Earthexplorer.usgs](http://earthexplorer.usgs.gov)). Она показана в виде 4-ого канала видимого диапазона и композитного изображения в естественных цветах (Рисунок 4.2).

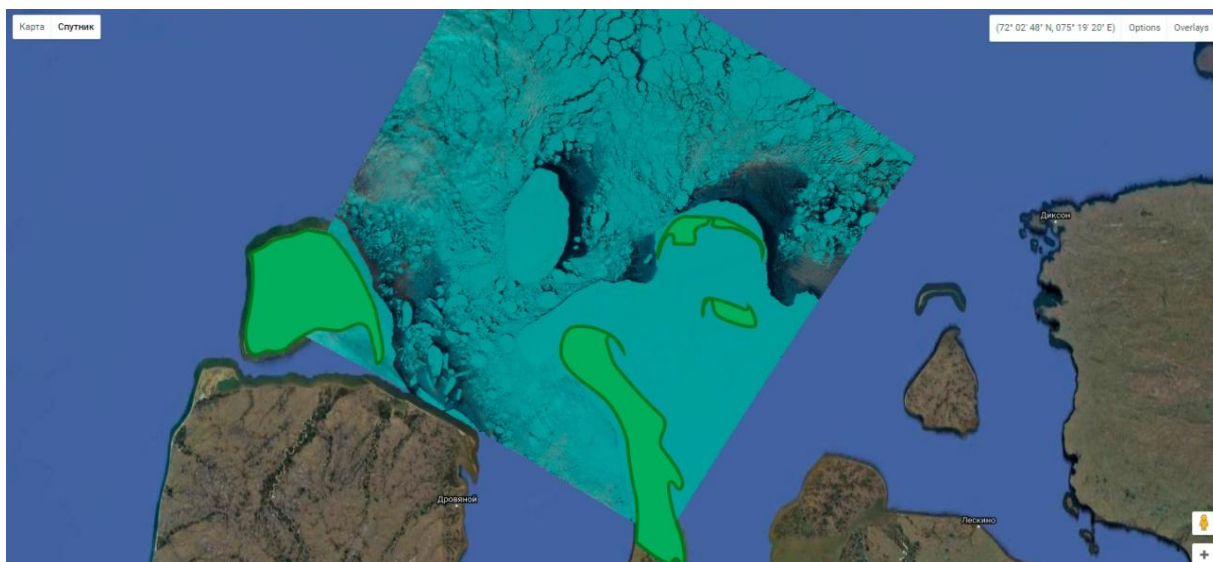


Рисунок 4.1–Спутниковый снимок северной части Обской губы за 15 апреля 2016 г.[13]

Следующей проблемой является облачность, ее можно легко выделить при помощи комбинации каналов и получить изображение, в различных псевдо-цветах. Это было выполнено в программном обеспечении [Bilko](#) для Windows, предназначенным для анализа цифровых изображений. Анализируя контрастность между цветами поверхности хорошо видно отличие поверхности суши и льда, от облачности (рисунок 4.3).

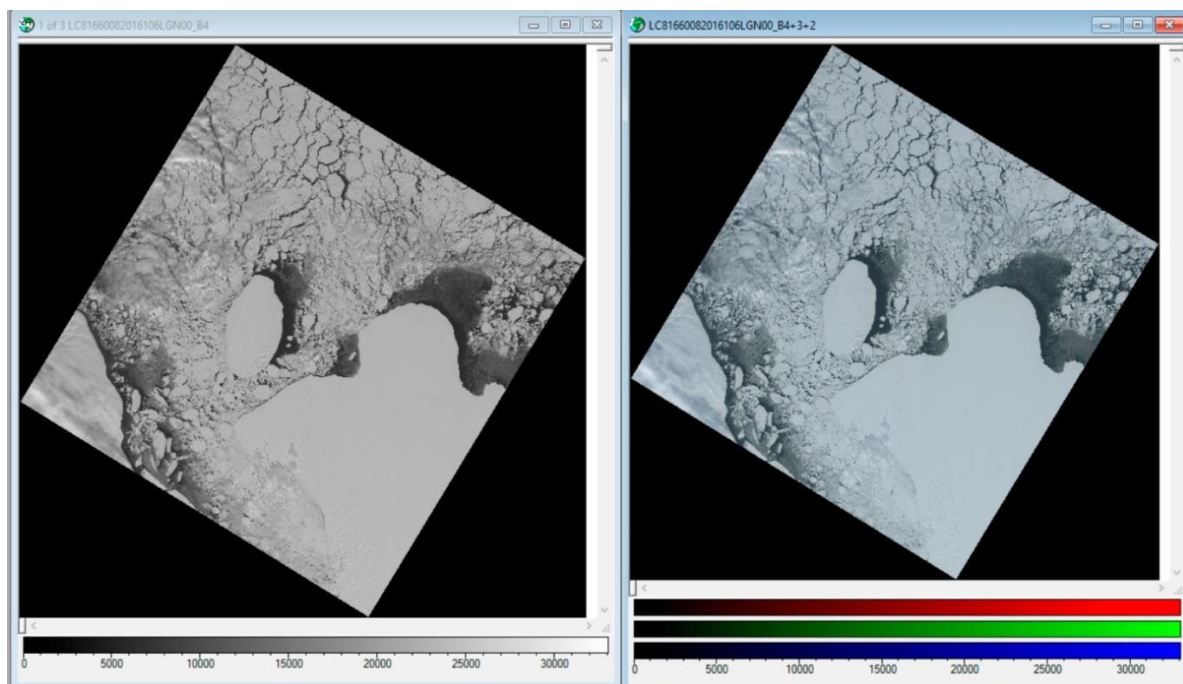


Рисунок 4.2 – Снимок в виде 4-ого канала видимого диапазона в серо-белых цветах (слева) и композитного изображения в естественных цветах (справа)

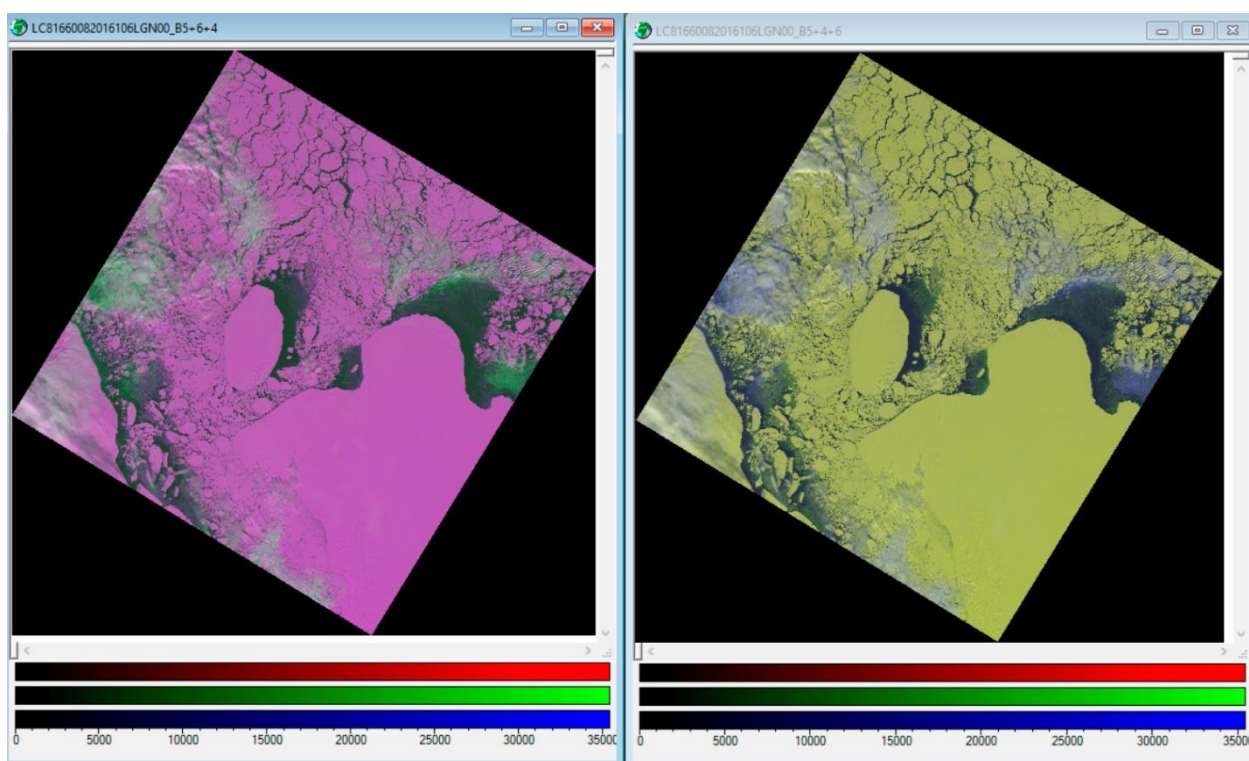


Рисунок 4.3 – Примеры композитных снимков в различных комбинациях 5, 6, и 4 каналов

Далее производится анализ ледовой обстановки, на интересующем нас отрезке сцены. Для этого мы анализируем снимок с помощью косвенных и прямых признаков дешифрирования. Таких как тональность, тон изображения, который определяется отражательной способностью, и количеством оттенков в изображении. В видимом диапазоне тональность сильно зависит от альбедо, поэтому толщина льда и его возраст определяют его цвет. Чем тоньше, тем темнее. Заснеженный и торосистый лед имеет максимальное альбедо, а тающий, покрытый снежницами - минимальное.

В результате этого мы получаем информацию видах площадях и толщинах льда (Рисунок 4.4). То есть получаем аналитическую дешифровальную информацию о ледовой обстановке. На рисунке 4.4 синими полигонами выделены области покрытые облачностью. Под номером “0”- обозначен участок чистой воды, “1” – выделен участок начальных видов льда (от 1 см до 10 см), “2” – выделен участок серого льда (от 10 см до 15 см), “3”- участок серо-белого льда (от 15 см до 30 см), “4”- средние однолетние льды (от 30 см до 70 см), “5”- толстые однолетние льды (от 70 см до 120 и более см). [10]

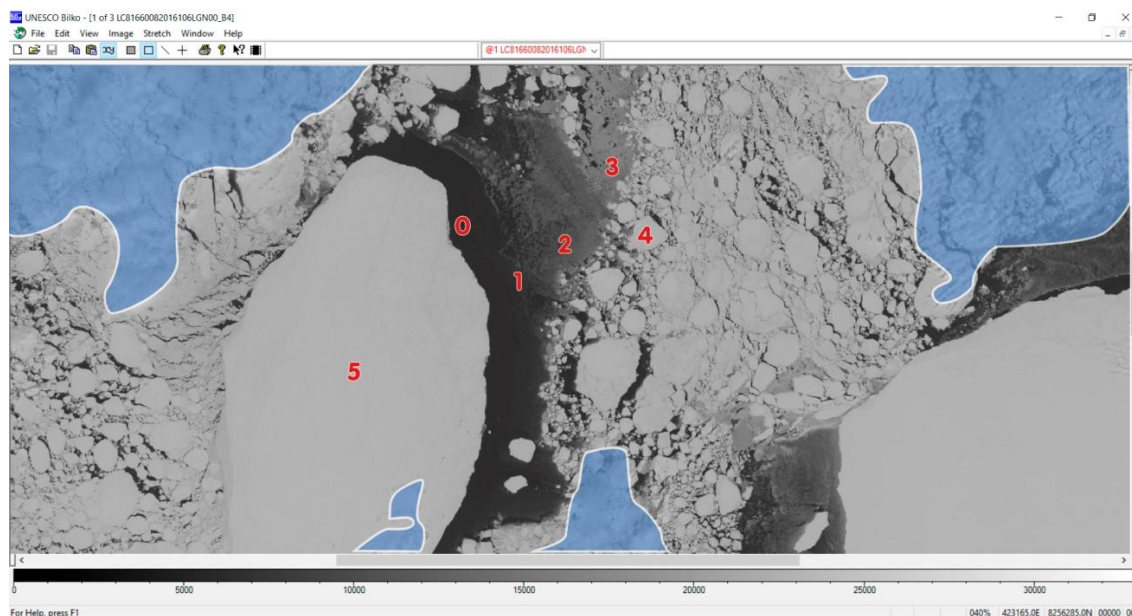


Рисунок 4.4 – Снимок с условными обозначениями характеристик льда

При достаточных данных и снимках за несколько дней, можно было бы определить направление дрейфа, течения, площади и т.д. Но в данной работе представлены данные только за один промежуток времени.

4.2 Анализ спутниковых данных SIOWS

Для анализа были подобраны и проанализированы спутниковые снимки, предоставленные сервисом SIOWSSOLABRSHU, в районе Обской губы за пять месяцев, с января по апрель 2010, 2011, и 2016 годов. Но при дальнейшем анализе имеющихся снимков, для статистического анализа были выделены два случая месячной динамики полыньи: 1-ый случай - за период с 6 марта по 21 апреля 2010 года, и 2-ой случай – за период с 7 марта по 19 апреля 2016 года (Приложения А и Б).

Первый случай. Весной 2010 года за несколько месяцев до начала таяния льда на Обской губе, в северной ее части образовалась область частой динамики или движения льда, с образованием полыньи. Конкретная область напоминает по форме шарообразный язык. Причиной такого образования в конкретном месте и конкретное время, является большое количество факторов: батиметрические особенности рельефа Обской губы (Рисунок 4.5), гидродинамика течений и ветровая составляющая, температурный режим, состав воды, и т.д.

На рисунке 4.5 красным выделена область с наименьшей глубиной, а синим, выделена область частой динамики и движения льда. Анализируя эти особенности рельефа дна Обской губы, можно утверждать, что формирования полыньи в этой области обусловлено разницей глубин. То есть, лед начинает отрываться по направлению течения, в более глубокой зоне на месте свала глубин.

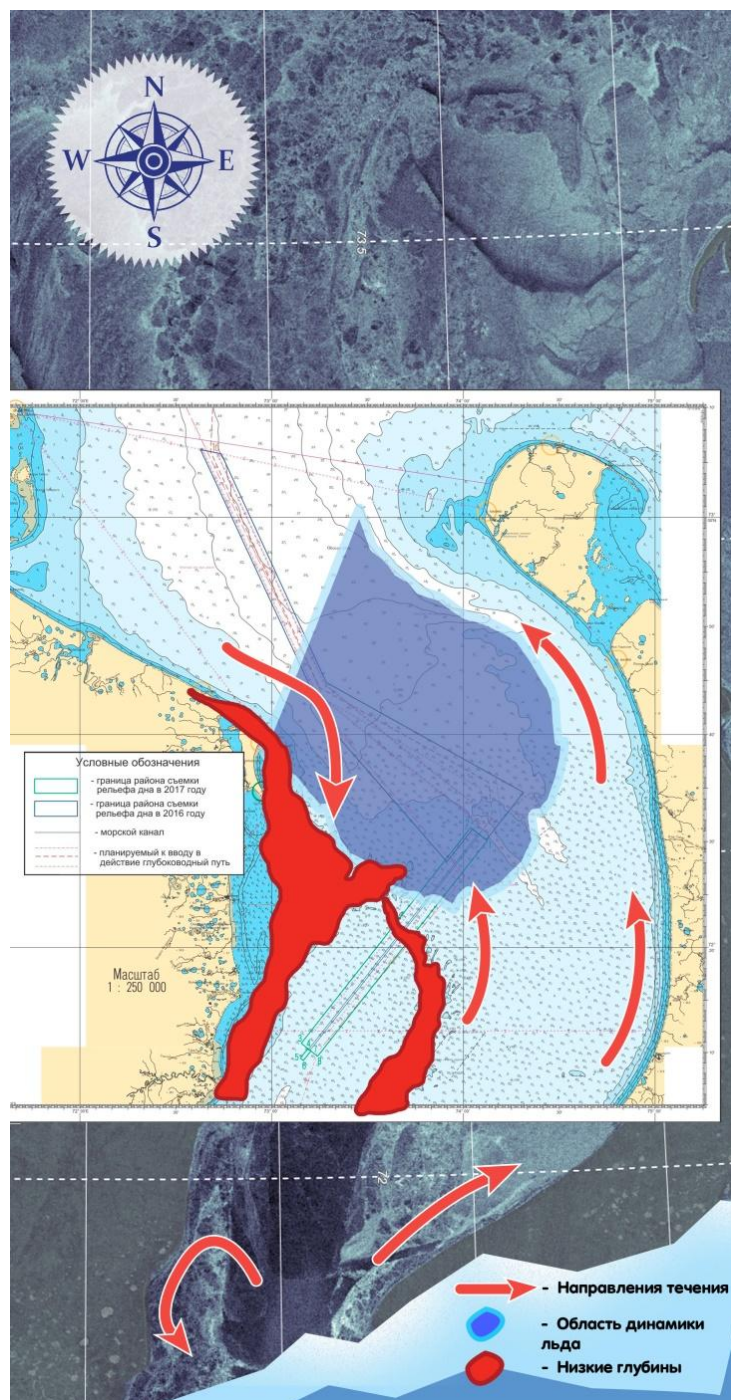


Рисунок 4.5 – Карта распределения глубин и течений в Обской губе весной 2010 г., наложенная на спутниковый снимок

Второй случай. Весной 2016 года за несколько месяцев до начала таяния льда на Обской губе, в средней её части образовалась область частой динамики или движения льда, с образованием полыньи. Эта область начала образовываться на определенном участке с малой глубиной напоминающей маленький островок, этот участок сработал как замок для всего льда в южной

части Обской губы, и не давал ему выбраться дальше на север по направлению течения (Рисунок 4.6).

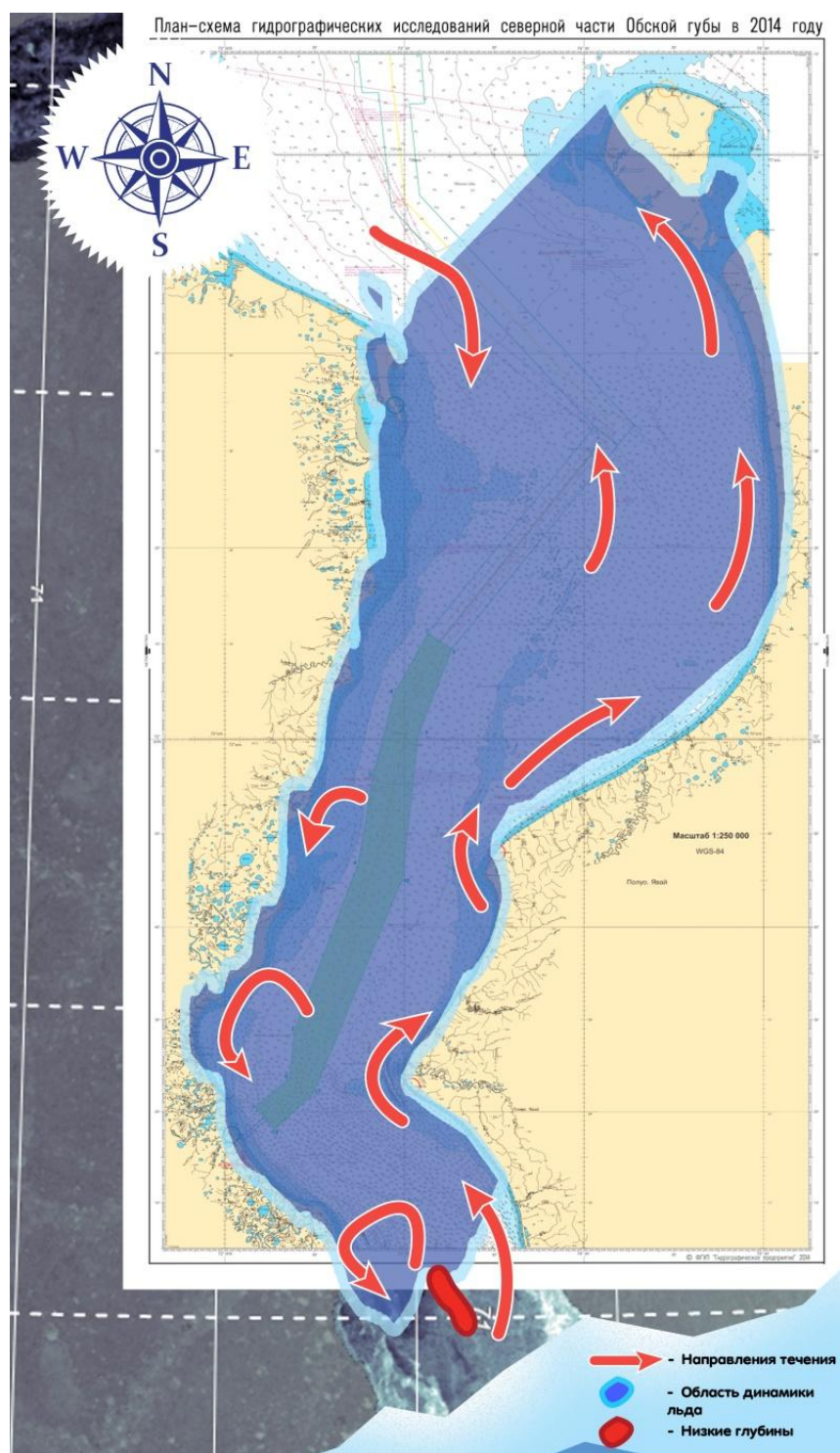


Рисунок 4.6 – Карта распределения глубин и течений в Обской губе весной 2016 г., наложенная на спутниковый снимок

На рисунке 4.6, маленьким красным полигоном в южной части изображения выделена область с наименьшей глубиной, которая стала началом об-

разования полыньи, а синим выделена область частой динамики и движения льда. Анализируя второй случай нужно добавить что 2016 год был гораздо более теплый по отношению к 2010 году.

Сумма градусодней мороза за 5 месяцев, с января по апрель, в 2010 году составляла $-2832,9^{\circ}\text{C}$, а в 2016 году $-1883,25^{\circ}\text{C}$, что объясняет, почему отрыв льда в 2016 году начинается гораздо раньше, чем в 2010 году, по направлению течения, с юга на север.

Более подробная динамика ежедневного изменения ледовой поверхности обоих случаев описана графически в Приложении А и Б.

4.3 Статистический анализ характеристик ледовитости Обской губы и оценка связи с метеорологическими параметрами

С помощью графического пакета QGIS все имеющиеся снимки 2010 и 2016 гг. были обработаны полигонально по видам льда и привязаны по географическим координатам (Рисунок 4.7). Затем были получены результаты площадей и динамики поверхности льда в интересующих нас случаях. В первом случае из значений площади области динамики льда выделенной синим цветом, напоминающей «язык» (Рисунок 4.5), были вычтены значения площади областей чистой воды, и таким образом были получены данные по изменчивости площади льда. Аналогично и для второго случая.

Для выявления факторов, определяющих динамику льда в северной части Обской губы привлекались данные интернет портала “RP5” (<https://rp5.ru/>), предоставляющего метеоданные с метеостанций по всей России. В данном случае были выбраны наблюдения со станции Сабетта.

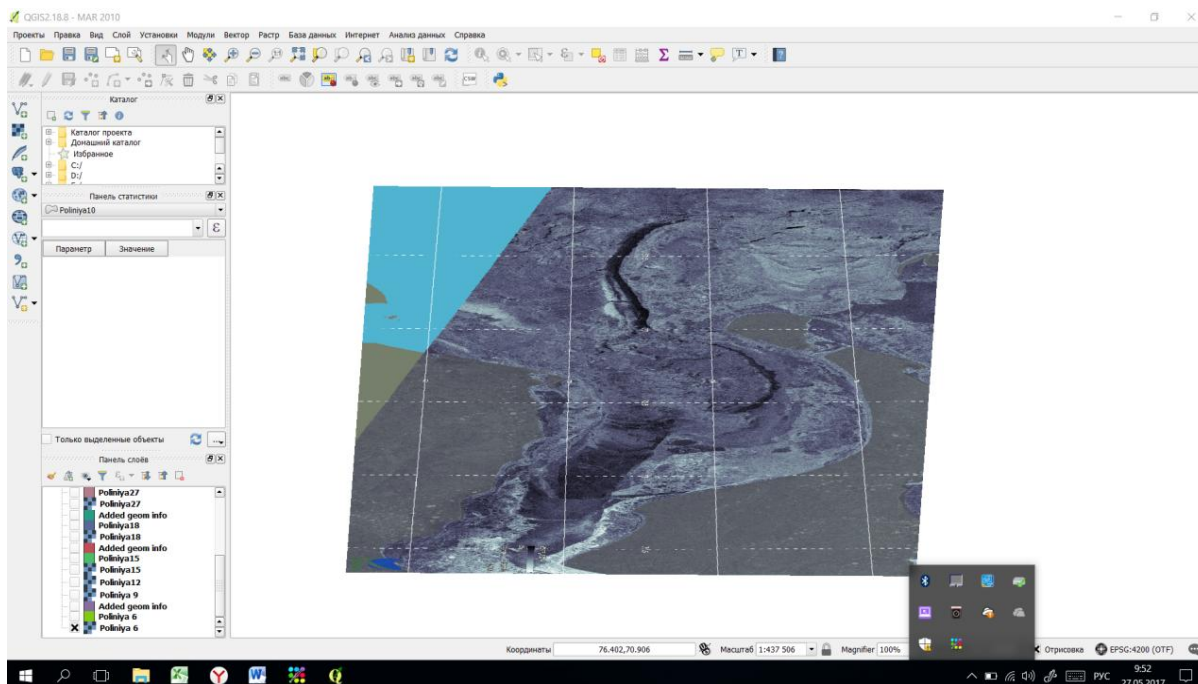


Рисунок 4.7 – Скриншот геообработки спутникового снимка в QGIS

Первый случай (2010 год). Были выбраны ряды данных температуры воздуха, направления и скорости ветра, площади ледовой поверхности, площади полыньи, в период с 6 марта по 26 апреля 2010 года. По данным направления и скоростей ветра были рассчитаны их средние значения, вместе с повторяемостью, по которой была сделана роза ветров (Рисунок 4.8 и Таблица 4.1). Анализируя розу можно сказать, что в это время в районе преобладали южные и юго-восточные ветра. Важно отметить, что такое направление ветра совпадает с направлением стокового течения Обской губы, что может говорить о том, что возможно есть прямая зависимость направления ветра и течения с образованием полыньи.

О скорости ветра можно сказать следующее: в данном районе, весной 2010 года преобладают ветры со средними скоростями от 4 до 9 м/с (Рисунок 4.9).

Повторяемость направления ветра



Рисунок 4.8 –Повторяемость направления и средней скорости ветра, м/с (в скобках) по данным на метеостанции Сабетта, за январь-май 2010 г.

Таблица 4.1 – Повторяемость направления и средней скорости ветра (м/с) по данным на метеостанции Сабетта за 5 месяцев 2010 г., (январь-май)

Направление ветра	Повторяемость (кол-во случаев)	средняя скорость, м/с
севера	14	5
северо-северо-востока	7	6
северо-востока	8	4
востока-северо-востока	10	4
востока	7	6
востока-юго-востока	5	3
юго-востока	18	6
юго-юго-востока	17	8
юга	14	6
юго-юго-запада	13	8
юго-запада	7	6
запада-юго-запада	5	6
запада	1	19
западо-северо-запада	14	9
северо-запада	5	5
северо-северо-запада	5	4

повторяемость скорости ветра

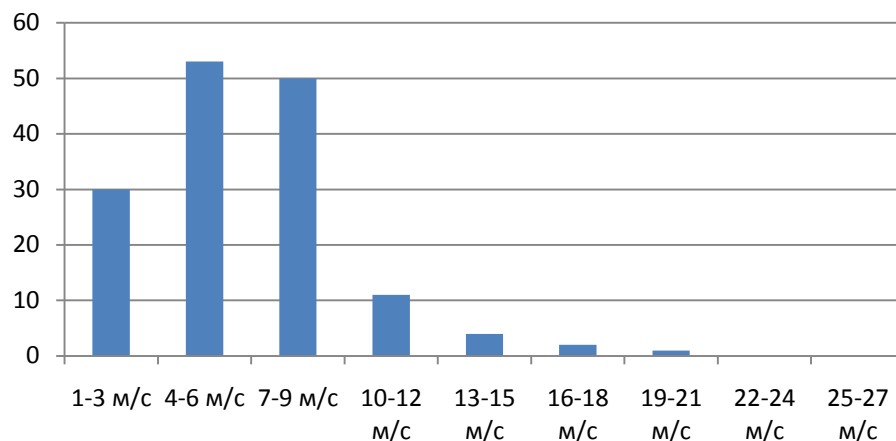


Рисунок 4.9 –Повторяемость скорости ветра, м/спо данным на метеостанции Сабетта, за январь-май 2010 г

Если рассмотреть на рисунке 4.10 совмещенные графики временной изменчивости площади льда и температуры воздуха, можно увидеть, что с понижением температуры воздуха пропорционально увеличивается площадь льда. Например, примерно с 15 марта по 22 марта температура воздуха понизилась с -10 до -28°C , в то же время площадь льда увеличилась с 4500 км^2 до 5500 км^2 . При сравнении площади льда со скоростью ветра такой ярко выраженной зависимости не наблюдается.

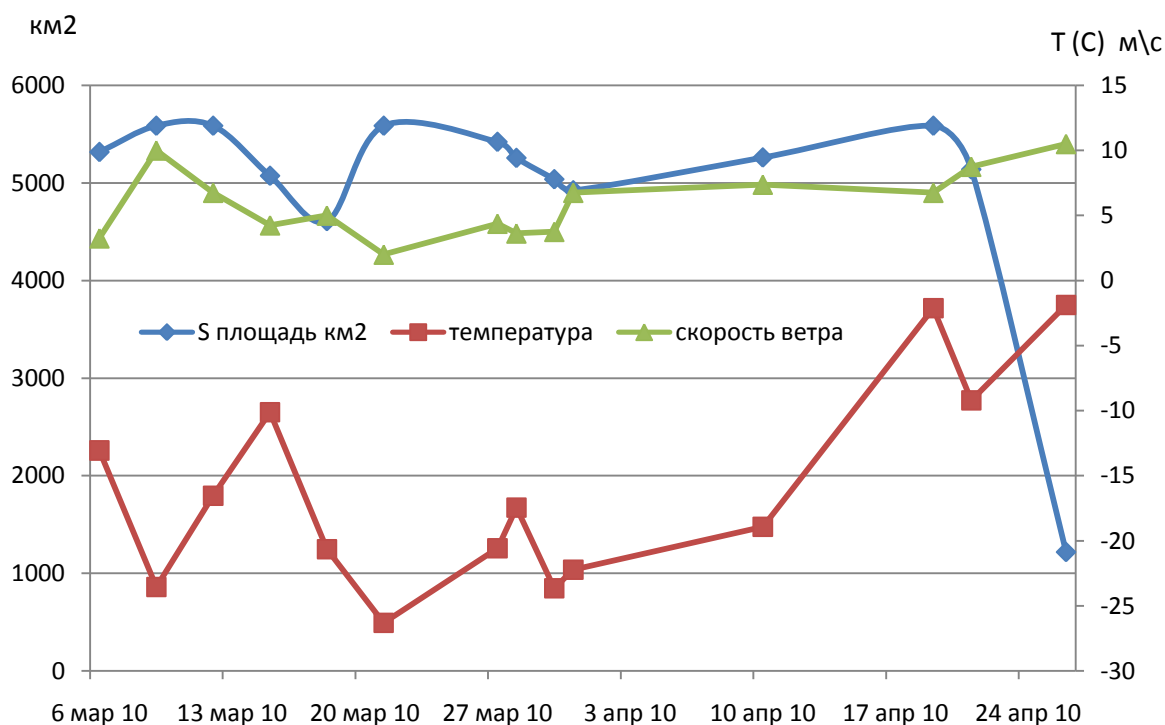


Рисунок 4.10 – Временная изменчивость площади ледовой поверхности северной части Обской губы и метеорологических характеристик на ст. Сабетта с 6 марта по 26 апреля 2010 г.

Второй случай (2016 год). Были выбраны ряды данных температуры воздуха, направления и скорости ветра, площади ледовой поверхности, площади полыньи, в период с 7 марта по 19 апреля 2016 года. По данным направления и скоростей ветра были рассчитаны их средние значения, вместе с повторяемостью, по которой была сделана роза ветров (Рисунок 4.11 и Таблица 4.1). Анализируя розу можно сказать, что в это время в районе преобладали южные и немного западные ветра. Важно отметить, что такое направление ветра совпадает с направлением стокового течения Обской губы, подобно говорит о том, что возможно есть прямая зависимость направления ветра и течения с образованием полыньи.

О скорости ветра можно сказать следующее: в данном районе, весной 2016 года преобладают ветры со средними скоростями от 4 до 9 м/с (Рисунок 4.11).

Повторяемость направления ветра



Рисунок 4.11 –Повторяемость направления и средней скорости ветра, м/с (в скобках) по данным на метеостанции Сабетта, за январь-май 2016 г.

Таблица 4.1 – Повторяемость направления и средней скорости ветра (м/с) по данным на метеостанции Сабетта за 5 месяцев 2016 г., (январь-май)

Направление (дует с)	Количество раз	Средняя скорость м\с
севера	9	6
северо-северо-востока	4	10
северо-востока	9	5
востока-северо-востока	6	7
востока	7	5
востока-юго-востока	4	8
юго-востока	11	7
юго-юго-востока	12	6
юга	29	6
юго-юго-запада	6	5
юго-запада	6	5
запада-юго-запада	15	7
запада	20	7
западо-северо-запада	3	6
северо-запада	5	6
северо-северо-запада	7	7

повторяемость скорости ветра

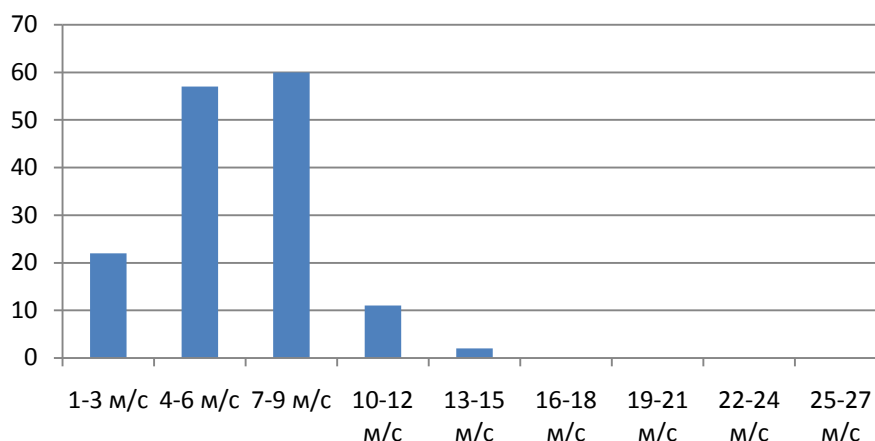


Рисунок 4.12 –Повторяемость скорости ветра, м/спо данным на метеостанции Сабетта, за январь-май 2016 г

Если рассмотреть на рисунке 4.13 совмещенные графики временной изменчивости площади льда и температуры воздуха, можно увидеть, что с понижением температуры воздуха пропорционально увеличивается площадь льда. При сравнении площади льда со скоростью ветра такой ярко выраженной зависимости не наблюдается.

Для более точной оценки связей площади ледового покрова в Обской губе и температуры воздуха на ст. Сабетта рассчитана взаимно-корреляционная функция (ВКФ) (Рисунок 4.14).

На графике ВКФ правая область соответствует зависимости площади льда от более раннего состояния температуры воздуха, а левая область соответствует обратной зависимости. Из рисунка 4.14 видно, что в правой области есть значимый коэффициент корреляции, что точно говорит о наличии линейной связи площади льда и температуры воздуха. Значимый коэффициент корреляции находится на 4 сдвиге.

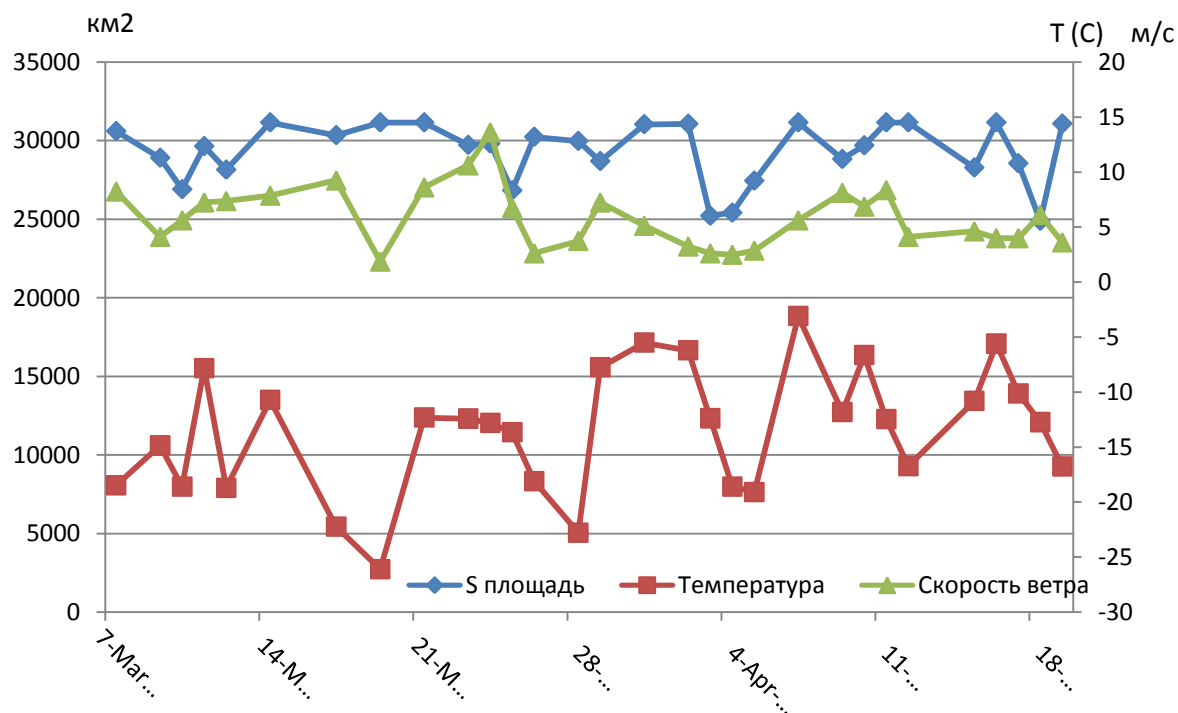


Рисунок 4.13 – Временная изменчивость площади ледовой поверхности северной части Обской губы и метеорологических характеристик на ст. Сабетта с 7 марта по 19 апреля 2016 г.

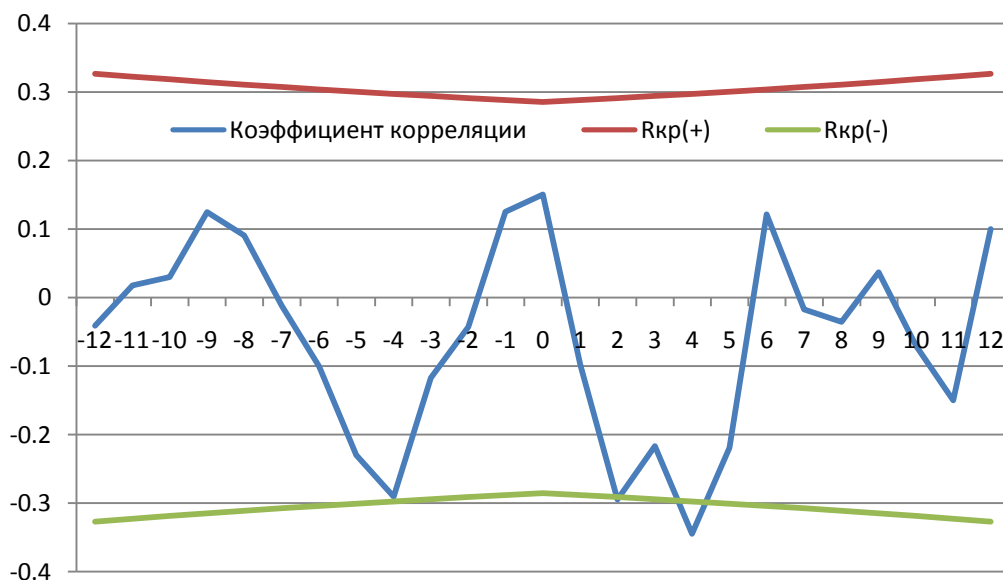


Рисунок 4.14 – ВКФ и ее уровни значимости для температуры воздуха на ст. Сабетта и площади льда в северной части Обской губы

Дополнительно стоит проверить зависимость площади льда от направления ветра. И построить ВКФ по этим рядам для более точной оценки (Рисунок 4.15). На графике ВКФ правая область соответствует зависимости площади льда от направления ветра, а левая область соответствует обратной зависимости направления ветра от площади льда. Из графика 4.15 видно, что в правой области есть значимый коэффициент корреляции, что точно говорит о наличии линейной связи площади льда от направления ветра. Значимый коэффициент корреляции находится на 8 сдвиге.

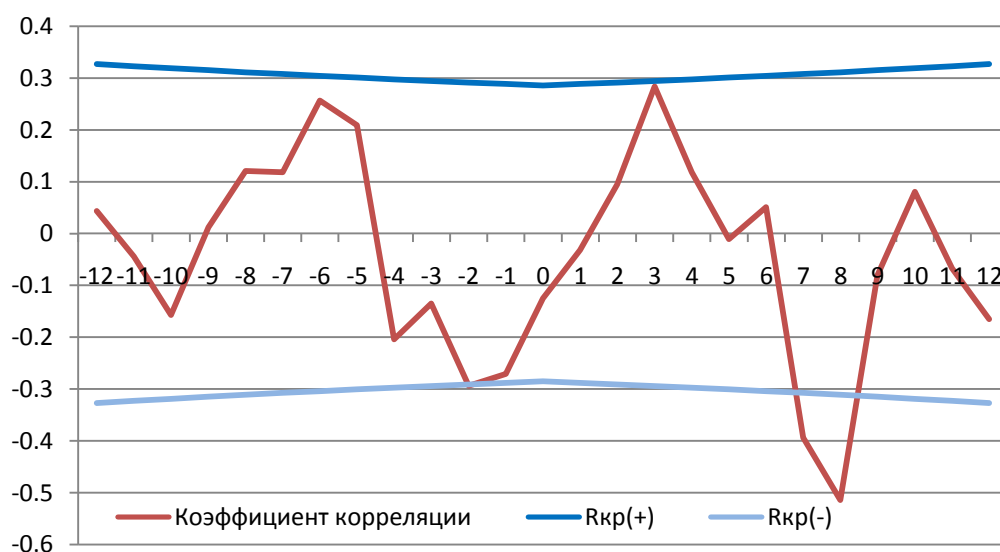


Рисунок 4.15 – ВКФ и ее уровни значимости для направления ветра на ст. Сабетта и площади льда в северной части Обской губы

Заключение

С изучением района Обской губы по спутниковым данным выявляется слабая доступность спутниковой информации из-за ее коммерческой сдержанности. Даже в закрытых источниках присутствует проблемы, источником которых является получение не каждодневной спутниковой информации. Необходимо разработать более открытую методику получения спутниковой информации, для улучшения общения спутниковых источников друг с другом.

Что касается динамики ледовой поверхности в Обской губе, она имеет ярко выраженные случаи, которые возникают при определенных значениях гидрометеорологической и гидрофизической информации. Что говорит о том, что ее легко прогнозировать при достаточно большой базе значений гидрометеорологической и гидрофизической информации, но на данный момент подобная база еще не достаточно большая.

По результатам статистического анализа площадь полыньи и площадь ледовой поверхности в зонах ее динамики, напрямую зависит от направления ветра и температуры воздуха. Площадь льда увеличивается при понижении значений более раннего состояния температуры воздуха, с заблаговременностью в 4 дня. Так как, значимый коэффициент корреляции находится на 4 сдвиге. И так же, площадь льда увеличивается от значений направления преобладающих ветров (южные, юго-западные), с заблаговременностью в 8 дней.

Эта информация может сильно помочь в моделировании или прогнозировании ледовой обстановки, в Обской губе при наличии схожих случаев динамики полыньи в будущем.

Анализируя результат можно сказать, что на данный момент, к сожалению, район считается мало изученным с научной стороны. Для более подробного изучения района, существуют множество методов, с помощью которых можно разработать автоматические методы моделирования природных усло-

вий в районе Обской губы. Так что, разработка новых научных методов мониторинга и моделирования гидродинамической обстановки ледовой поверхности является важным условием обустройства станций добычи сырья на месторождениях.

Список использованных источников

- 1 Захваткина Н.Ю., Наблюдение ледяного покрова с помощью радиолокационных систем дистанционного зондирования // Журнал: Современные проблемы науки и образования, 2012год, № 4.
- 2 Исследование ледяного покрова с помощью радиолокационных станций бокового обзора (РЛС БО): методическое пособие.– Ленинград Гидрометеоздат 1983 год. 24 стр.
- 3 С. А. Лапин, Специфика формирования зон повышенной продуктивности в Обском эстуарии С. А. Лапин 2012 год, 9 стр.
- 4 Н. А. Дианский, В. В. Фомин, В. М. Грузинов, “Оценка влияния подходного канала к порту Сабетта на изменение гидрологических условий Обской губы с помощью численного моделирования” только изображения. Журнал Арктика: экология и экономика № 3 (19), 2015 год.
- 5 В.В.Мотычко, А.Ю.Опекунов, В.М.Константинов, Л.Ф.Андрианова, Научная статья “Основные черты морфогенеза в северной части обской губы” 2009 год. 69 Стр.
- 6 Группа анализа водных систем –WaterSystemsAnalysisGroup — при Университете Нового Хэмпшира, США.Доступ:<http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>),
- 7 Архив погоды в Сабетте / RP5.ru- расписание погоды.– Интернет-ресурс. Доступ: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Сабетта (01.01.2010-31.05.2016, свободный)
- 8 И.М. Ашик, Презентация “Взаимодействие речного стока и морских вод арктических морей в условиях меняющегося климата” 2011 год, 7слайд.
- 9 И. Чебатареv, Учебное пособие “Общая гидрология” Ленинград Гидрометеоздат, 1975 год. 349 стр.
- 10 Научная методика “Номенклатура морских льдов от 1974 г.”
- 11 Статья “Спутниковый мониторинг морских льдов”

- 12 С. А. Лапин “Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период” 2011 г. 17 стр.
- 13 Архив спутниковых данных / Портал Earthexplorer.usgs- интернет-ресурс предоставляющий спутниковые снимки спутника LANDSAT 8 (01.01.2010-31.05.2016, свободный), Доступ: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- 14 Сычев В.И. Методика выполнения лабораторных работ Сычев В.И. “Практическое использование спутниковых изображений по результатам дистанционного зондирования Земли из Космоса” 4 стр.
- 15 Оперативные данные с сайта ААНИИ, Интернет-ресурс поставляющий ледовые карты. Доступ: <http://www.aari.ru/> (15.04.2016, свободный)
- 16 Масанов А.Д. «Устные лекции по оперативному дешифрированию ледовой поверхности в Арктике» 2016 год.

Приложение А. Данные и значения расчетов площадей льда по выбранным периодам (Выделены дни, имеющие спутниковый снимок).

2010					
Дата	Температура воздуха	Скорость ветра м/с	Направление (дует с)	Направление (в градусах)	Площадь льда км2
06.мар.10	-13,0625	3	северо-запада	135	5317,8
07.мар.10	-28,9333333	3	северо-северо-запада		
08.мар.10	-23,2875	8	западо-юго-запада		
09.мар.10	-23,5625	10	юго-юго-запада	30	5586,9
10.мар.10	-20,4125	9	юго-юго-востока		
11.мар.10	-16,8375	8	юга		
12.мар.10	-16,5375	7	юго-юго-востока	330	5586,9
13.мар.10	-15,5	8	юго-юго-востока		
14.мар.10	-17,6125	5	юга		
15.мар.10	-10,125	4	юга	360	5073,9
16.мар.10	-8,2	5	юго-востока		
17.мар.10	-12,775	5	юго-востока		
18.мар.10	-20,65	5	юго-запада	45	4608,9
19.мар.10	-21,05	2	юга		
20.мар.10	-24,4	1	северо-северо-запада		
21.мар.10	-26,3125	2	севера	180	5586,9
22.мар.10	-24,8428571	5	юго-юго-востока		
23.мар.10	-20,8375	4	юго-востока		
24.мар.10	-13,275	8	востока		
25.мар.10	-12,05	5	юго-юго-востока		
26.мар.10	-21,875	6	юго-юго-востока		
27.мар.10	-20,575	4	юго-востока	315	5421,8
28.мар.10	-17,45	4	севера	180	5257,1
29.мар.10	-22,7125	3	западо-северо-запада		
30.мар.10	-23,6625	4	востоко-юго-востока	300	5038,6
31.мар.10	-22,225	7	востоко-северо-востока	240	4924,9
01.апр.10	-27,3375	3	севера		
02.апр.10	-24,45	3	севера		
03.апр.10	-26,2375	4	западо-северо-запада		
04.апр.10	-22,175	6	северо-северо-востока		
05.апр.10	-24,4875	4	севера		
06.апр.10	-22,2428571	3	севера		
07.апр.10	-25,5	4	юго-востока		
08.апр.10	-22,0625	7	юго-востока		
09.апр.10	-19,5375	9	юго-востока		
10.апр.10	-18,9375	7	юго-востока	315	5261,4
11.апр.10	-21,1125	3	востоко-юго-востока		
12.апр.10	-20,6625	1	востоко-северо-востока		
13.апр.10	-18,3625	6	юго-юго-запада		
14.апр.10	-12,0375	7	юго-юго-запада		
15.апр.10	-8,75	6	юго-юго-запада		

16.апр.10	-10,0285714	5	севера		
17.апр.10	-14,0375	3	востоко-юго-востока		
18.апр.10	-8,725	8	юго-юго-запада		
19.апр.10	-2,125	7	юго-юго-востока	330	5586,9
20.апр.10	-0,6375	8	западо-северо-запада		
21.апр.10	-9,2125	9	северо-северо-востока	210	5139,5
22.апр.10	-17,725	4	севера		
23.апр.10	-11,375	11	юго-юго-востока		
24.апр.10	-3,75	15	юго-юго-востока		
25.апр.10	0,55	7	юго-запада		
26.апр.10	-1,875	11	западо-северо-запада	120	1216,9

2016					
Дата	Температура воздуха	Скорость ветра м/с	Направление (дует с)	Направление (в градусах)	Площадь льда км2
07.мар.16	-18,475	8	юго-запада	45	30597,9
08.мар.16	-18,3	6	юго-юго-запада	30	28902,9
09.мар.16	-14,85	4	юго-запада	45	28902,9
10.мар.16	-18,5875	6	востока	270	26904,4
11.мар.16	-7,825	7	запада	90	29643,4
12.мар.16	-18,7	7	востоко-северо-востока	240	28147,5
13.мар.16	-26,0125	4	северо-запада	135	31153,2
14.мар.16	-10,7125	8	запада	90	31153,2
15.мар.16	-4,9875	5	западо-юго-запада	60	30342,8
16.мар.16	-11,8875	9	востоко-северо-востока	240	30342,8
17.мар.16	-22,225	9	северо-северо-востока	210	30342,8
18.мар.16	-22,575	4	северо-северо-запада	150	31153,2
19.мар.16	-26,0875	2	юга	90	31153,2
20.мар.16	-16,55	6	востоко-северо-востока	240	31153,2
21.мар.16	-12,3142857	9	западо-юго-запада	60	31153,2
22.мар.16	-16,4875	7	севера	180	29718,9
23.мар.16	-12,4125	11	запада	90	29718,9
24.мар.16	-12,8125	14	западо-юго-запада	60	29807,3
25.мар.16	-13,65	7	запада	90	26827,4
26.мар.16	-18,1	3	юго-востока	315	30236,9
27.мар.16	-16	8	юго-востока	315	29969,3
28.мар.16	-22,775	4	юго-юго-востока	330	29969,3
29.мар.16	-7,75	7	юга	360	28690,9
30.мар.16	-4	6	запада	90	31038,5
31.мар.16	-5,5125	5	юго-запада	45	31038,5
01.апр.16	-0,4375	9	запада	90	31062,7
02.апр.16	-6,2	3	запада	90	31062,7
03.апр.16	-12,3875	3	северо-востока	225	25215,3
04.апр.16	-18,5875	3	запада	90	25410,5
05.апр.16	-19,0875	3	юго-юго-востока	330	27443,6
06.апр.16	-10,175	5	востоко-юго-востока	300	31153,2
07.апр.16	-3,1	6	юга	360	31153,2
08.апр.16	-9,575	7	запада	90	28824,1
09.апр.16	-11,825	8	запада	90	28824,1
10.апр.16	-6,6375	7	востока	270	29694,8
11.апр.16	-12,4625	8	северо-северо-запада	150	31153,2
12.апр.16	-16,725	4	юго-юго-запада	30	31153,2
13.апр.16	-7,8	7	юга	360	28280,8
14.апр.16	-7,6125	7	юга	360	28280,8
15.апр.16	-10,8	5	юго-запада	45	28280,8
16.апр.16	-5,6125	4	юго-востока	315	31153,2
17.апр.16	-10,125	4	востока	270	28551,6
18.апр.16	-12,7375	6	востока	270	24890,1
19.апр.16	-16,7625	4	юга	360	31074,2

Приложение Б. Спутниковые снимки за период 1-ого случая динамики ледовой поверхности в 2010 году.

Спутниковые снимки за период 2-ого случая динамики ледовой поверхности в 2016 году.