

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

Кафедра промысловой океанологии и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская работа)

На тему Динамика заприпайных полынй Карского моря по данным спутниковых микроволновых измерений

Исполнитель Львова Екатерина Владимировна

Руководитель Кудрявцев В. Н.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

«__» _____ 20__ Г.

Санкт-Петербург

2019

Содержание

Введение.....	3
1. Теоретико-методологическая основа изучения Карского моря.....	6
1.1 Основные характеристики Карского моря	6
1.2 Гидрометеорологический режим Карского моря	10
1.3 Ледовые условия Карского моря.....	14
1.3.1 Основные элементы сезонной изменчивости ледяных условий в Карском море	14
1.3.2. Различия ледовых условий в юго-западной и северо-восточной частях Карского моря	18
1.3.3 Плыньи Карского моря	22
2. Исходные данные и методы их анализа	28
2.1 Спутниковые микроволновые данные	28
2.2 Усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр (AMSR-2)	37
2.3 Использование SIOWS: Arctic для мониторинга динамики заприпайных полыней...39	
3. Изучение динамики заприпайных полыней.....	47
3.1 Использование спутниковых данных AMSR-2 для изучения заприпайных полыней Карского моря	47
3.2 Межгодовая и межсезонная изменчивость	56
3.3 Влияние ветра и температуры воздуха на формирование полыней в Карском море .75	
Заключение.....	97
Список литературы.....	99
Приложение А.....	105

Введение

Исследования Арктики всегда были в приоритетных направлениях в мировой полярной океанологии. Российская полярная океанология была в авангарде научных направлений Арктики, таких, как: гляциология, геофизика, морская биология и другие. Наш современный атомный ледокольный флот не стал бы самым мощным в мире, если бы не исследования отечественных ученых.

Сегодня трасса Северного морского пути рассматривается, как единая природно-экономическая система, включающая в себя моря арктического шельфа от Баренцева до Чукотского морей. Освоение её является одной из важнейших задач Российской Федерации, так как позволяет более продуктивно осуществлять экономические связи, решать экологические задачи совместно с другими странами мира. К сожалению, арктические моря имеют яркую особенность – лед, что затрудняет развитие этих регионов. Изучение, анализ поведения и прогноз ледового покрова является одним из наиболее приоритетных задач сегодняшнего времени.

Среди морей арктического шельфа следует уделить особое внимание Карскому морю. Именно на него замыкаются крупнейшие экономически-развитые в Сибири бассейны Оби и Енисея. Кроме того, именно хорошо развитая инфраструктура в данных регионах позволяют нам проводить полноценную экологическую экспертизу антропогенного влияния на районы, сопрягающиеся с этой областью. В ближайшем будущем будут защищаться множество проектов по освоению различных месторождений Обской губы, ресурса полуострова Гданьский, транспортировка нефти Ямало-Ненецкого округа и множество других.

За последние годы мы наблюдаем огромные изменения в Арктических морях, а также в изменении ледового покрова в Арктике. Конечно, существенный вклад здесь – это человеческий фактор, но нельзя также исключать и естественные природные циклы. Проведение мониторинга этих

изменений в оперативном режиме позволяют именно спутниковые наблюдения. Спутниковая океанология неопровержимо доказала свою состоятельность, собирая оперативную информацию о ледовом покрове Арктики на протяжении 30 лет.

Прогнозировать ситуацию будущего движения льда, корректировать антропогенное воздействие, рассматривать изменения, происходящие на Карском и других арктических морях мы сможем, увеличивая количество собранных с помощью спутников данных.

Структурно работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, содержащего 58 наименований. Объем работы – 105 страниц текста, 47 рисунков, 5 таблиц.

Актуальность. Карское море – одно из наиболее интенсивно исследуемых морей арктического региона России, так как на сегодняшний день на его территории разворачиваются крупнейшие проекты по добыче нефти и газа. Полыньи являются особым явлением, которое контролирует ледообразование в любом арктическом море, в частности и в этом. В связи с потеплением климата и изменением ледовых условий за последнее десятилетие, изучение именно этого явления кажется наиболее целесообразным, так как позволяет наглядно увидеть, как меняется от года к году изменение льда в Карском море.

Цель работы. Анализ динамики заприпайных полыней Карского моря с использованием спутниковых микроволновых данных.

Задачи.

- Ознакомление с литературой, касающейся изучения Карского моря;
- Нахождение спутниковых микроволновых данных для дальнейшего анализа;
- Выбор наиболее оптимального инструментария для исследования;
- Работа с ГИС для анализа данных;
- Рассмотрение полученных спутниковых микроволновых данных, их сбор;

- Анализ межгодовой и межсезонной изменчивости заприпайных полыней;
- Построение графиков, наглядно иллюстрирующих процессы, происходящие в межгодовом и межсезонном масштабе;
- Анализ и вывод факторов, влияющих на появление, изменение и закрытие заприпайных полыней;

Объектом исследования является Карское море.

Предметом исследования является динамика заприпайных полыней Карского моря.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Кудрявцеву В.Н., а также консультанту, Заболотских Е.В. Помимо этого, автор выражает благодарность Станичному С.В., Кубрякову А.С., Хайминой О.В. и Цареву В.А. за оказанную помощь и поддержку при написании данной работы.

1. Теоретико-методологическая основа изучения Карского моря

1.1 Основные характеристики Карского моря

Северный Ледовитый океан включает в себя несколько морей – Баренцево море, море Бофорта, Чукотское море, море Линкольна и, конечно же, Карское море. Вместе с тем, это самый малый по площади и глубине океан Земли, который находится полностью в северном полушарии.

Карское море является довольно важным морем для Российской Федерации, так как расположено непосредственно у северных берегов и на него замкнуты многие торговые пути. В частности, Северный морской путь будет пролегать именно там. Соединяется непосредственно с морем оно на 81-й параллели. Разумеется, такая линия достаточно условна, но в целом она пролегает от крайней восточной оконечности земли Франца Иосифа и движется вплоть до мыса Молотова. Между Новой Землей и материком находится пролив Карские ворота, потоки воды через которые обуславливают водообмен между морем и океаном. Если же рассматривать границу моря с западной стороны, то здесь линия пролегает несколько иначе: от северного края Новой Земли (рядом с мысом Кользет) и вплоть до острова Вайгач и Новой Земли. [3, 5].

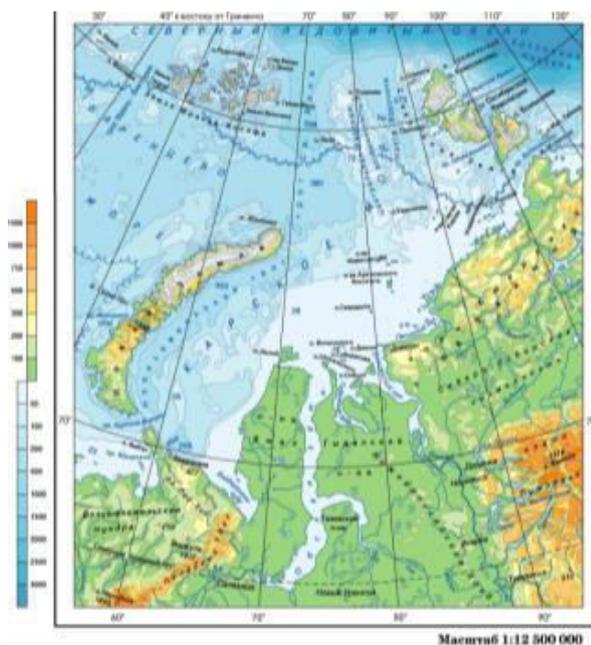


Рис.1 Физическая карта Карского моря [3]

Карское море имеет отличительную особенность, не встречающуюся у других арктических морей – оно имеет множество островов и архипелагов в своем районе. Из-за достаточной извилистой береговой линии, на территории Карского моря также можно наблюдать фьорды, которые не увидать в других местах. Полуостров Ямал, который примыкает к Карскому морю, окружен двумя губами – Байдарацкой и Обской, а в восточной стороне от него находятся заливы, известные на всю Россию: Гыданская губа, Енисейский, Пясинский.

Что касается островов, то их действительно большое количество: крупные расположены преимущественно на севере – это острова Шмидта, Ушакова, Визе, архипелаги разбросаны по территории – это архипелаг Сергея Кирова, Норденшельда и другие, а к мелким островам относятся острова Белый, Шокальского, Сибирякова, Русский, Диксон.

Если рассматривать рельеф Карского моря, то можно выделить несколько областей: в центральной части находится относительно ровное дно, в восточной и южной частях, которые непосредственно прилегают к материку, наблюдаются небольшие углубления, которые в некоторых местах отделены поднятиями разной высоты. Рассматривая картину в целом, можно сказать, что дно Карского моря очень неровно, с глубинами, которые не опускаются ниже сотни метров. К самой выделяющейся особенности дна Карского моря стоит отнести Центральную Карскую возвышенность, которая простирается от материкового склона. Эта возвышенность является естественной границей между западной частью Карского моря и восточной, что также дает одно из оснований для географов делить Карское море на две части. В частности, в западной части моря расположен самое глубокое место во все море трог Святой Анны, в восточной части есть трог Воронина, не с такими большими глубинами, как на западе. Трог Воронина имеет глубины всего лишь достигающие до 200 м [25].

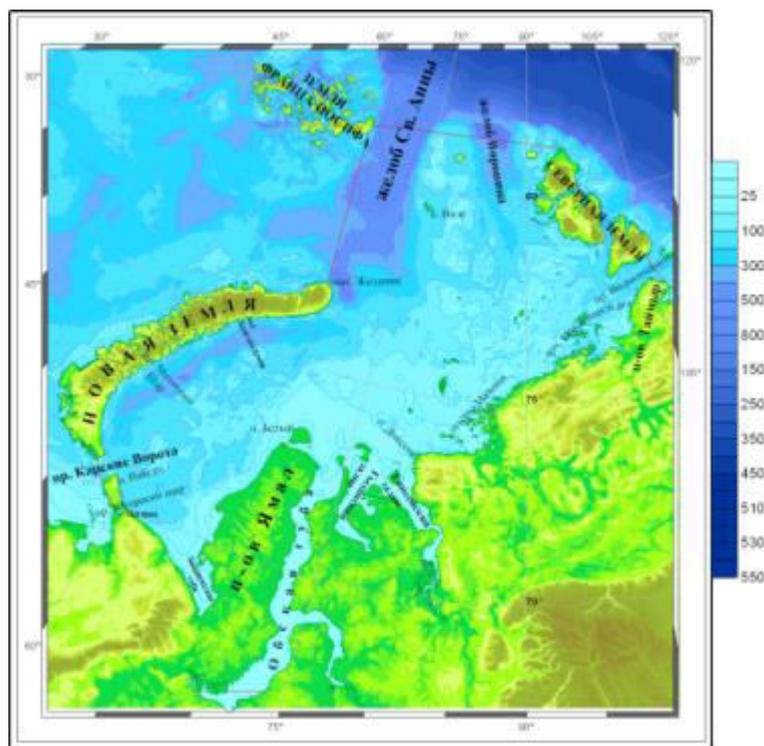


Рис.2 Рельеф Карского моря [3]

Из-за своего уникального положения (Карское море находится под влиянием как Арктического сурового климата, так и более мягкого Атлантического), Карское море должно было бы иметь более мягкий климат в сравнении с другими арктическими морями. К сожалению, это по факту не так: из-за того, что на территории Карского моря расположен довольно широкий остров Новая Земля, теплый атлантический воздух не может перейти этот естественный барьер. Если сравнивать климат Карского моря и, например, Баренцева, то станет очевидным то, что в случае с первым климат намного более суровее, чем у второго. В связи с различными географическими факторами, а также с главным течением, в западной части моря наблюдается большее количество штормов, нежели на восточном, а температуры значительно ниже.

Что же касается приливов, то в районе моря они неправильны и суточные с достаточно большими скоростями. Более того, если сравнивать основные течения и течения приливные, то окажется, что скорости приливных течений намного превышают скорости основных. Так, если сравнивать скорости у острова Белый и скорости Центрального Карского

течения, то окажется, что скорости приливных течений у первого намного выше, чем у второго. В то же время, сгонно-нагонные течения, которые также наблюдаются в районе Карского моря, несколько подавляют приливы, из-за чего их размеры относительно невелики – всего лишь 0,5 – 0,8 м. Лишь в районе Обской губы (что и неудивительно, учитывая её расположение, а также влияние Оби и Енисея) наблюдаются приливы, которые превышают 1 м. Сгонно-нагонные колебания уровня в глубине заливов достигают до 2 м, но на материковом берегу моря они не больше 1 м.

Как уже было сказано выше, Карское море имеет достаточно суровые условия климата. Значительное время (с сентября по июнь) море так или иначе покрыто льдом, что означает, что прогревается оно достаточно слабо. Следуя сезонным изменениям, можно было бы предположить, что вертикальное распределение температуры воды изменяется в соответствии с изменением месяца – и так оно и есть. То же самое относится и к солености поверхностных вод, которая несколько ниже, чем у остальных арктических морей из-за влияния Оби и Енисея, а также Баренцева моря. Соленость также разделяется по районам: например, соленость поверхностных вод у острова Диксон составляет 3-5‰, но если рассматривать открытые участки моря, то там соленость может достигать вплоть до 33 или даже 34‰.



Рис.3 Лед Карского моря, август

Центральное Карское течение является основным течением Карского моря, на которое непосредственно влияет циркуляция вод Арктического бассейна, а также воды, поступающие из прилегающих к Карскому морей (Баренцево, Море Лаптевых). Ветровое перемешивание наблюдается слабо и лишь на открытых пространствах. Исследователи отмечают резкие пики интенсивности перемешивания вод во время штормовых ветров, которые наблюдаются по большей части в осенний сезон. В это же время, соответственно, увеличиваются и скорости течений, наблюдаемых в этом районе – в другое время они достаточно незначительны, но под влиянием длительных штормовых или сильных ветров они увеличиваются в разы [11, 8].

1.2 Гидрометеорологический режим Карского моря

Термический режим. Карское море известно исследователям тем, что для него характерны весьма значительные различия в температурном режиме. Разумеется, для этого есть достаточно весомые причины, заключающиеся в его географическом положении, а также влиянии атмосферной циркуляции в том районе.

Карское море – море Арктического бассейна, вследствие чего логично то, что климат там достаточно суров. Это, безусловно, не способствует достаточному прогреву вод, а так как большую часть времени море находится подо льдом, температура в среднем находится в диапазоне от $-1,7$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$. Как известно, Карское море делят на две независимые части: юго-западную и северо-восточную. Различные условия, в том числе и температурные, также оказывают свое влияние на эти районы. Так, на юго-западную часть очень влияют воды, проникающие сквозь пролив Карские ворота, в то время, как на северо-восточный район влияет колоссальный речной массив Оби и Енисея. На мелководье отмечаются отрицательные температуры, но вот в самых глубоких точках моря температура несколько

выше и может достигать $+1,0$ и даже $+1,5^{\circ}\text{C}$ (рис.4). Причиной этому является то, что в желоба проникает теплая атлантическая вода, но поступление их незначительно и у южных границ желобов они становятся сильно охлажденными, температура составляет около 0°C .

В летнее время наблюдается несколько иная ситуация: на море оказывает сток рек (Оби и Енисея), водообмен с прилегающим Баренцевым морем. Особые ледовые условия Карского моря (лишь к середине июля море наполовину очищается ото льда), также вносит свой вклад в ситуацию. В зоне дрейфующих льдов, которые расположены преимущественно в северо-восточной части моря, которая является более холодной, температура воды в летнее время составляет 0°C . В юго-западной части ситуация выглядит по-другому – вода там более свободна от ледового покрова, а значит процесс теплообмена там работает лучше, вследствие чего вода имеет летом плюсовую температуру, достигающую до $+2^{\circ}\text{C}$. Прогрев воды также достаточно глубок – до 10-15 м. Из-за упомянутого выше фактора вод Баренцева моря, проникающих с запада в акваторию Карского моря, местами температура может подниматься до $+8^{\circ}\text{C}$, однако лишь в районе пролива.

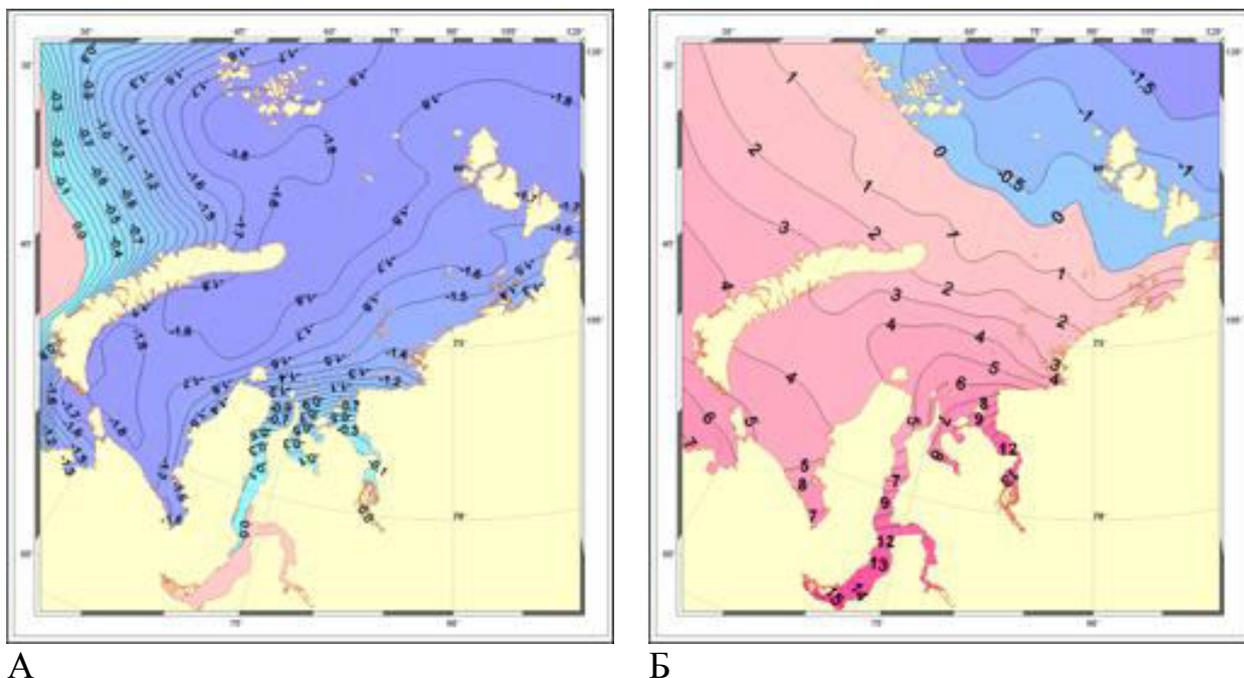
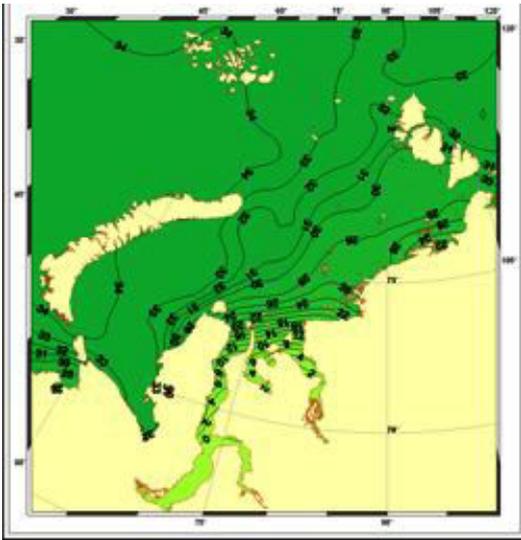


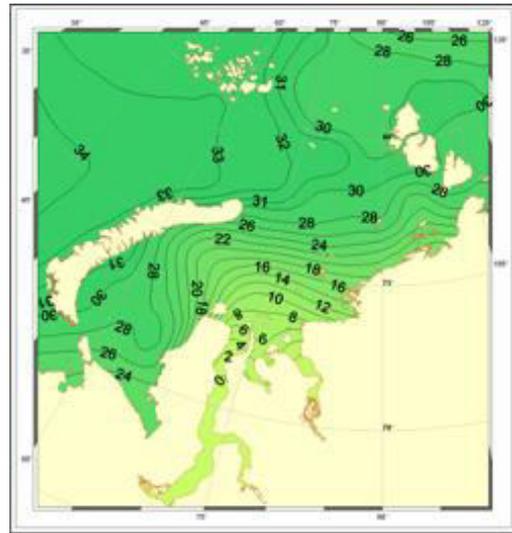
Рис.4 Термический режим моря зимой (А) и летом (Б)

Среднегодовая температура Карского моря колеблется не сильно и амплитуда таких колебаний находится в рамках полторы градусов. Также, стоит отметить, что северо-восточная часть холоднее и ледовый режим там более устойчив, а колебания, следовательно, ещё меньше. Однако, даже на севере есть места, особенно в районах полыней или других разрывов, где колебания чуть выше, чем в остальной части [3, 8].

Распределение солености. Соленость в Карском море также имеет неравномерное распределение (рис.5). Отмечаются большие сезонные колебания, наиболее явно видимые летом и зимой [2, 3]. На распределение солености в Карском море влияют множество факторов, как и для всякого другого моря, однако следует выделить несколько основных: к ним относятся, разумеется, воды, пришедшие с Северного Ледовитого океана, материковый сток Оби и Енисея, а также то, что Карское море большую часть времени находится подо льдом, что затрудняет водообмен и циркуляцию в целом. Так как Карское море является относительно замкнутым морем и закрыто от внешнего воздействия, а водообмен с соседними морями осуществляется через узкие проливы, естественно, что соленость поверхностных вод несколько ниже средней солености океана. В среднем, в юго-западной части моря наблюдается соленость от 3 до 5 промилле, тогда как на северо-восточной в разы больше – от 33 до 34 промилле. В зимний сезон, когда сток Оби и Енисея достаточно невелик и не оказывает большого влияния на воды моря, соленость восстанавливается и имеет повышенные значения, нежели в более теплое время, когда распресненные воды существенно меняют обстановку и соленость на всей акватории резко падает.



А



Б

Рис.5 Распределение солености зимой (А) и летом (Б)

Циркуляция водных масс. Как уже было сказано несколько ранее, на Карское море оказывают влияние множество факторов. На поверхностные течения в Карском море также оказывают факторы, основными из которых являются сток рек и водообмен с Баренцевым и другими прилегающими морями. Из-за воздействия этих факторов в Карском море существует устойчивая система течений, которая на всей акватории образует практически циклонический круговорот вод,двигающийся против часовой стрелки. На севере также существует течение, но менее слабое и отчетливое, доходящее до Северной Земли (рис.6).

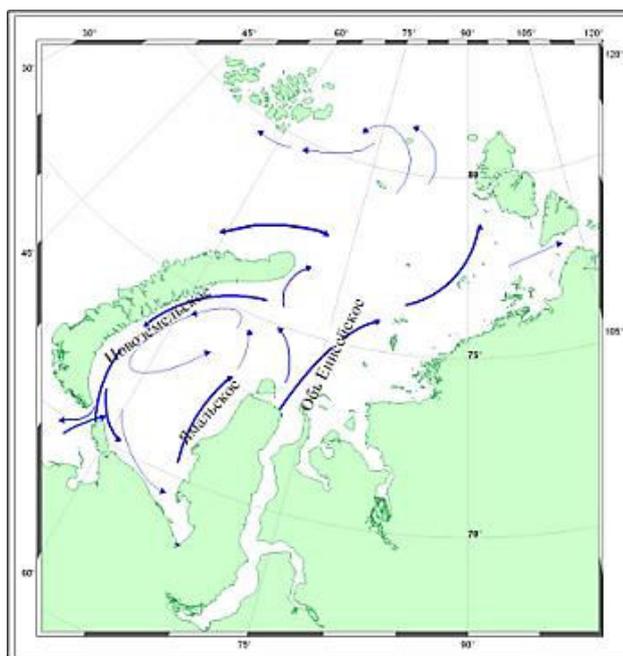


Рис.6 Схема постоянных течений в поверхностных слоях Карского моря

Скорости этих течений меняются от сезона к сезону, а также попадают под ветровое влияние и влияние климата в целом. Обобщенно, принято считать, что скорости постоянных течений изменяются от 5 до 15 см/с. Эта цифра, однако, может вырасти в намного большую, практически до 70-90 см/с, если направление течения совпадет с направлением ветра или попадая под влияние атмосферной циркуляции в целом.

Циклоническая система течений, наблюдаемая в центре Карского моря, может несколько менять свое положение, а также сокращаться либо расширяться.

Также стоит упомянуть, что воды, проникающие через пролив Карские ворота, могут также оказывать значительное влияние на устойчивую систему и создавать противотечение, наблюдаемое у южной части Новой Земли.

1.3 Ледовые условия Карского моря

Развитие ледяного покрова происходит под действием термических и динамических атмосферных и океанических процессов различных масштабов. Ледяной покров, является продуктом взаимодействия океана и

атмосферы, и служит естественным индикатором интенсивности этого взаимодействия. В работе [6] дано определение термина «состояние ледового покрова» как оптимальной совокупности его параметров, пространственно-временная изменчивость которых характеризует объект в 15 конкретных физико-географических условиях. В первую очередь такими крупномасштабными параметрами состояния ледового покрова Карского моря для сезонных и междугодичных (а также вековых) колебаний являются его ледовитость и положение кромки льда.

1.3.1 Основные элементы сезонной изменчивости ледяных условий в Карском море

Карское море является арктическим морем, расположенным в верхних широтах Земли, что, естественно, указывает на то, что Карское море на всем протяжении своего существования замерзало именно из-за своего географического положения. Ледообразование начинается, в целом, с сентября месяца, хотя это достаточно неточное описание, ведь Карское море делится на две неравномерные части. В юго-западной части ледообразование, практически всегда, начинается в чуть позднее время, примерно к концу октября. После того, как лед встал, такое положение с незначительным изменением сохраняется вплоть до мая-июня, когда начинается разрушение припая. В это же время наблюдается наибольшее разнообразие льда по возрасту и виду.

Море очищается очень медленно ото льда, традиционно это происходит в середине-конце сентября, но даже в это время почти половина акватории занята остаточными льдами. Затем, к концу сентября – начале октября, из-за дрейфа и таяния льда очищается ещё 10-15% моря, но это происходит только в юго-западной части, тогда как в северо-восточной остается схожая ситуация, которая наблюдалась и в начале сентября. Более того, пока в юго-западной части ледовый покров постепенно уменьшается, в северо-восточной медленно начинается ледообразование.

Лед образуется как в самом море, так и поступает из Центрального Арктического бассейна. То есть, обобщенно, можно сказать, что большую часть года Карское море покрыто сплошным ледяным покровом в осенне-зимнее время и летом освобождается ото льда лишь в части его поверхности.

В Карском море припай играет особую роль – занимая всю прибрежную зону, он зависит от изрезанности побережья и прибрежных глубин. Ширина его варьируется очень сильно в зависимости от этих факторов. Также на него влияет наличие островов, отмелей, архипелагов и, безусловно, течений, которые есть в районе моря. Время образования припая различается из-за этого от географического положения: так, ранее всего образование припая происходит у Западно-таймырского побережья и на мелководье, затем, чуть позже, в заливах Обь-Енисейского района, и лишь затем припай устанавливается у берегов Новой Земли, но там он занимает лишь узкую прибрежную полосу. Взлом припая также разнится по району расположения, но в целом он начинается в конце весны – начале лета. На это влияют многие факторы, основными из которых являются солнечное тепло, волнение, течение, туманы, дожди и, в случае с Карским морем, более теплые материковые воды, которые несут с собой Обь и Енисей, впадающие в море на востоке.

В конце весны – начале лета, в то время, как начинается период таяния в Карском море, сплоченные (7-10 баллов) льды моря постепенно трансформируются в ледяные массивы. Трансформация происходит неравномерно. В юго-западной части моря - это Новоземельский массив, в северо-восточной части - Североземельский и Северный Карский массивы. В начале летнего периода Новоземельский массив часто блокирует пролив Карские Ворота, однако в августе он практически во всех случаях исчезает. Разделение сплоченных льдов северо-восточной части моря на два массива чаще всего происходит в середине августа. Северо-западные районы моря занимает Северный Карский массив, его льды разрушаются медленнее остальных ледяных массивов моря, и до 40 % его площади ледяного покрова

не тает в летний период. Большую часть летнего периода Североземельский массив блокирует западные подходы к Североземельскому архипелагу и к проливу Вилькицкого, и в среднем до 20-25 % массива льда сохраняются до начала ледообразования [4, 7, 8].

За прошедшее десятилетие исследователи многих стран отмечают нетипичное поведение ледового режима. Многие связывают это с увеличением парниковых газов в атмосфере, что, в свою очередь, влияет на климатическую обстановку Земли. Прогнозы говорят о том, что если ситуация будет ухудшаться и концентрация парниковых газов будет расти, то с одной стороны это может привести к непредсказуемым последствиям, а с другой – возможно, легче станет осуществлять прогнозы, так как будет повышена эффективность солнечной активности, как предиктора при прогнозировании [2, 11, 15, 14].

Замерзание. В начале сентября в северной части Карского моря начинается ледообразование, происходящее изначально с остаточных льдов, а затем – захватывая все большие и большие площади чистой воды. Именно потому, что оно начинается с севера, направление изохрон направлено с северо-востока на юго-запад. Самое позднее замерзание наблюдается, обычно, в районе залива теплых и соленых вод через пролив Карские ворота из Баренцева моря.

В стандартных условиях ледообразование всего моря заканчивается через 75 суток: с 5 сентября по 18 ноября. При экстремально позднем замерзании оно начинается 20 сентября и заканчивается 24 декабря (продолжительность 95 суток), а при экстремально раннем, соответственно, 20 августа и 15 октября (продолжительность 56 суток). [5, 26, 38, 17]

Нарастание толщины. Нарастание толщины льда в Карском море происходит неравномерно и что является достаточно неприятным фактом, так как различия в начальной толщине льдов оказывают влияние на ледовых условиях следующим летом. Разница между районами достаточно велика –

если на юго-западе толщина к концу зимы составляет около 120 см, то в северо-восточной части – около 180.

Как уже было сказано, замерзание начинается на севере, а затем движется постепенно на юг. К тому же, на район между 66° и 77° с.ш. оказывает влияние Северная Атлантика, но чего не происходит с северо-восточной частью акватории. Было зарегистрировано, что суммы среднемесячных значений температуры воздуха за зимний период на станциях Амдерма и мыс Челюскин различаются почти в два раза. Эти факторы приводят к тому, что интенсивность выхолаживания подстилающей поверхности очень различается по площади моря.

Разрушение припая, а затем и полное очищение акватории ото льда приходится на летний сезон: в начале июня начинается таяние ледяного покрова в море, что, разумеется, приводит к тому, что площадь льдов постепенно становится все меньше. На это большое влияние оказывают заприпайные полыньи (где льда либо совсем нет, либо это молодой лед до 30 см). Именно из этих участков происходит дальнейшее разрежение льда. Принято рассматривать разрушение льда подекадно – так, за июнь ледовитость уменьшается, примерно, на 10%, а затем, за июль и август, в среднем на 7% соответственно. Граница резкого перехода, однако, расположена именно посреди июля – начале августа – именно в этот момент сезон делится на две части: для июня-июля характерно распространение сплоченных льдов на акватории, а для августа-сентября характерна чистая вода. Также эта граница совпадает со временем, при котором наблюдается самое большое количество разреженных льдов.

В среднем для 10 декад (конец июня - конец сентября) чистая вода занимает 44 % площади акватории, сплоченные льды - 42 %, а редкие и разреженные льды - только 14 % [2, 8, 5, 12].

В летний период ледяной покров представляет собой закономерно сгруппированную совокупность льдов различной сплоченности и различного

возраста [5]. Тем не менее, даже здесь можно проследить различия между юго-западной частью и более холодной северо-восточной.

1.3.2. Различия ледовых условий в юго-западной и северо-восточной частях Карского моря

Среди исследователей существует принятое мнение о том, что вследствие различных факторов, Карское море следует разделять на две части: юго-западную и северо-восточную. Различия между ними касаются не только климата, но также и ледовых условий, географических и других. Более того, из-за столь больших различий внутри акватории, было предложено разделение Карского моря: юго-западная часть была бы, соответственно, Карским морем, а вот северо-восточную часть хотели отделить от него и назвать Западно-Сибирским морем [5].

Безусловно, географически Карское море существует, как один цельный природный объект. Тем не менее, если рассматривать ледовые условия моря, то станет очевидным то, что акватория поделена на две практически не связанных части.



Рис.7 Разделение Карского моря на Юго-Западную часть и Северо-Восточную

На рис.7 видно, что делится море практически посередине. Если говорить в географическом отношении, то граница между юго-западной и

северо-восточной частью пролегает по прямой линии, соединяющей мыс Желания и мыс Диксон.

Ледовый режим Карского море начинается в сентябре месяце и заканчивается к началу июня, при этом в начале летнего сезона в юго-западной части уже наблюдаются заприпайные полыньи в районах Обь-Енисейской стационарной полыньи, а также Ямальской. Это связано, в первую очередь, с тем, что туда относятся более теплые и распресненные воды Оби и Енисея, которые относятся в те районы, захватываемые Центральным Карским течением. Более того, из-за этих же вод, к концу летнего сезона в юго-западной части Карского моря доля сплоченных льдов в два раза больше, нежели в северо-восточной части. Самые большие различия во льдах наблюдаются в конце июля (для юго-западной части) и в конце августа (для северо-восточной). В это время отмечено самое большое сосредоточение редких и разреженных льдов. Это, в свою очередь, приводит к тому, что к концу летнего сезона – началу осеннего на море устанавливается четко видимая картина разделения: к концу сентября в юго-западной части моря уже практически не наблюдается остаточных льдов, а район чистой воды составляет примерно 80%. Если же рассмотреть другую часть моря, то там же картина разительно отличается – более половины акватории занимают льды и наблюдается лишь небольшая часть чистой воды.

Отличия заключаются не только в ледовом режиме, но даже в толщине льдов. Так, к концу зимнего периода в северо-западной части отмечаются льды толщиной в два раза больше, нежели в юго-восточной.

Как стало понятно исследователям, такое поведение ледового режима является не слишком типичным для любого моря, а не только для Карского. Были произведены многочисленные исследования по которым было выведено, что основной причиной такого нетипичного поведения является разнонаправленность влияния тепловых и динамических факторов. Так, если обобщить состояние на море по сезонам, можно увидеть, что в зимние

периоды различий практически не наблюдается – море является цельным объектом, без какого-либо разграничения (не считая разного режима полыней), в то время как в летний период изменения достаточно значительны. Были сняты показатели температуры воздуха с полярных станций. Температура воздуха косвенно может сказать исследователю о том, с какой именно интенсивностью будет нарастать лед в тот или иной период. После того, как были проанализированы данные, было получено следующее утверждение: зимой Карское море является относительно цельным географическим объектом со схожими температурными показателями, тогда как летом динамические характеристики значительно отличаются друг от друга на разных частях акватории. Разумеется, такая ситуация была бы невозможна, если бы Карское море было открытым морем без большого количества островов, архипелагов и других неровностей, однако так как Карское море является достаточно замкнутым (остров Новая Земля, например, ограничивает потоки вод Баренцева моря и Атлантики), то эта ситуация возникает повсеместно.

Таким образом, можно выделить четыре основных фактора, влияющих на Карское море и которое приводит к тому, что исследователям следует разделять юго-западную и северо-восточную части: географический, климатический, ледовый, а также гидрологический.

К основным географическим факторам можно отнести, в первую очередь, глубоководные впадины, расположенные на дне моря. Из них следует отдельно выделить самые глубокие – трог Святой Анны, желоб Воронина и Новоземельскую впадину. Безусловно, сюда же стоит отнести пролив Карские ворота, разделяющий Новую землю и материковую часть, через который проникают в море воды Баренцева моря. Новая Земля, очень неудобно расположенная на границе моря, является естественным барьером для более теплых воздушных масс Атлантики, а мелкие и средние острова и архипелаги, разбросанные по акватории, лишь усугубляют положение.

К климатическим факторам стоит отнести различие в сроках ледообразования для обеих частей, толщине льдов к началу таяния, средней интенсивности нарастания льдов зимой, а также в сроках начала таяния (май и июнь соответственно для юго-западной и северо-восточной части). Не стоит забывать и о влиянии Атлантики, которая, так или иначе, оказывает воздействие на районы, однако достаточно неравномерно.

К гидрологическим факторам стоит отнести влияние Оби и Енисея на море. Это влияние настолько огромно, что является практически естественной границей между двумя районами. Воды Оби и Енисея, тем не менее, захватываемые течениями, переносятся в большей степени в юго-западную часть, а не в северо-восточную, что таким образом говорит о том, что на юг оказывается большее влияние, нежели чем на север.

Несомненно, стоит рассмотреть и ледовые факторы. В первую очередь стоит упомянуть о разном режиме полыней в Карском море. Как будет рассмотрено чуть ниже, выделяются 8 основных районов полыней – некоторые из них относятся к стационарным, некоторые к устойчивым. Тем не менее, 3 стационарные полыньи находятся в юго-западной части моря, что оказывает свое влияние на район, так как полыньи являются естественными аккумуляторами тепла в арктических морях и непосредственно влияют на климат. Здесь же стоит отметить и площадь припая, чья значимость не может быть подвержена никаким сомнениям. Также стоит упомянуть о том, что Новоземельский и Североземельский массив существуют обособленно друг от друга и вносят свой вклад в общую картину. Важно при этом и то, что Карское море имеет общую границу с Арктическим бассейном.

Подводя итог, следует сказать, что причины разделения Карского моря на юго-западную и северо-восточную части вполне обоснованы и подтверждены многочисленными исследованиями моря. Главенствующими причинами разделения являются, конечно, географические причины, но и все остальные природные факторы также вносят свой неоценимый подчас вклад. Более всего разделение становится очевидным в летний период, когда юго-

западная и северо-восточная части наиболее заметны, тогда как в зимний период разделение не столь очевидно.

Очевидно, что среди указанных причин разделения Карского моря на юго-западную и северо-восточную ледовые части географические, климатические и гидрометеорологические причины образуют некое единое целое, внутри которого четко и однозначно разделить составляющие трудно, если вообще возможно. Необходимо сказать, что географические причины образуют некоторую базу, на основе или под влиянием которой проявляются все остальные природные факторы.

Таким образом, в летний период Карское море состоит из двух самостоятельных частей с сильно различающимися природными свойствами.

1.3.3 Полыньи Карского моря

Карское море относится к морям Арктики, а значит имеет достаточно суровый климат, при котором зимой наблюдается весьма холодная атмосфера. В то же время, океан, по сравнению с температурой воздуха, имеет более высокие температуры, однако их взаимодействию и взаимному влиянию друг на друга мешает лед.

В зависимости от факторов, влияющих в то или иное время на ледовую обстановку, могут образовываться различной длины и ширины разрывы во льду. В таких местах могут наблюдаться достаточно мощные по своей силе конвективные потоки и ко всему прочему тут наблюдаются очень большие разницы температур, достигающие до 40°С. Из-за того, что образовался разрыв, в этих местах возможно взаимодействие между океаном и атмосферой. Таким образом, тепло, накопленное океаном и скрытое до некоторого времени подо льдом, выпускается в воздух.

Полыньи – один из ярких примеров таких разрывов, возникающих в ледовом покрове. Причины могут быть разными и исследователями ещё до конца не доказаны, что именно заставляет появляться их. В основном,

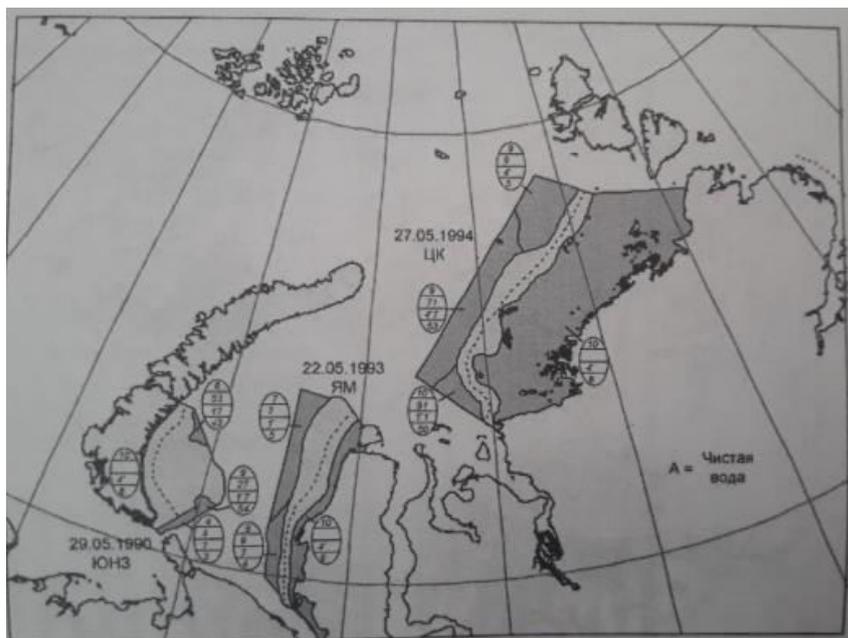
выдвигаются гипотезы о том, что на них влияет температура или прижимной ветер. В данной работе отдельно будет рассмотрен этот вопрос в главе 3.3. Что же касается определения полыней, то это большие участки открытой воды или участки молодого льда толщиной до 30 см. Площадь полыней варьируется от района, времени возникновения, а также причины возникновения. В целом, они могут быть площадью как несколько сотен метров, так и сотни километров. Место расположения полыней также варьируется, но обычно они расположены между дрейфующими льдами и припаем до того момента, как начинается его вскрытие. Из-за того, что полынья – это разрыв в относительно цельной поверхности льда, конвективные потоки в местах их расположения в несколько раз больше, чем где бы то ни было. Заприпайные полыньи, как и припай, являются постоянным элементом ландшафта арктических морей. В осенний период они образуются под действием динамических причин – преимущественно отжимного ветра – вдоль всего припая.

Полноценное исследование режима заприпайных полыней стало возможным после формирования системы круглогодичного наблюдения за ледяным покровом в арктических морях с помощью авиаразведки и запуска искусственных спутников Земли, позволивших получать сведения о полыньях регулярно с дискретностью в несколько суток. В настоящее время все ещё исследуются основные характеристики заприпайных полыней и производится сбор данных о роли полыней в гидрометеорологическом режиме морей.

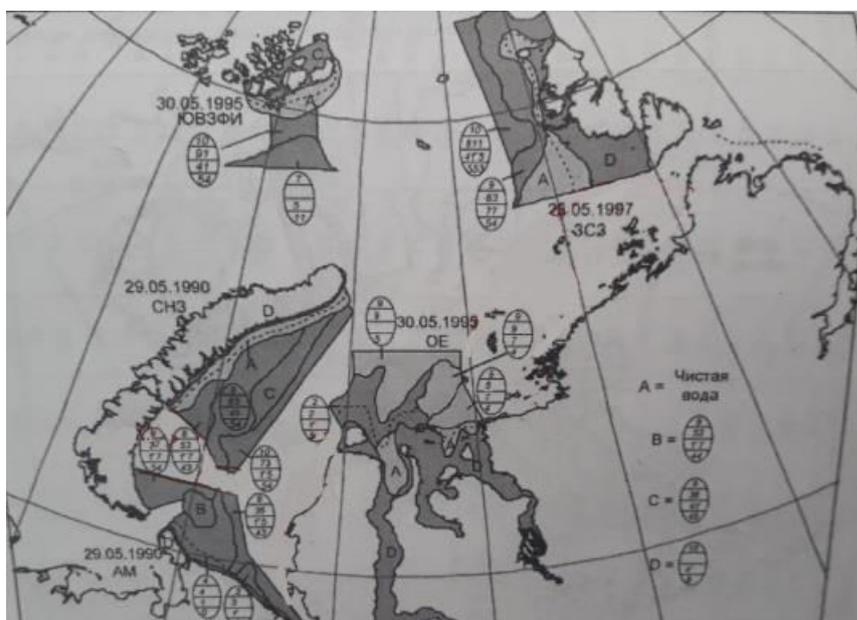
зимний период. С того времени также было написано множество работ, посвященных их изучению, их роли в формировании климата Арктики. Проводились модельные, спутниковые, комплексные исследования, ученые посвящали множество времени и сил для изучения этого явления. В частности, чтобы оценить потоки тепла над льдами, были использованы совместно как данные спутниковые, так и данные с метеорологических станций и специализированных экспериментов.

Практически единственным способом получения точного представления о региональной и глобальной изменчивости состояния ледового покрова является использование спутниковых данных. Как известно, использование их в условиях Арктики ограничено радиометрическими свойствами датчиков и их пространственным разрешением. Наиболее приемлемыми для исследований такого рода считаются данные пассивного микроволнового зондирования.

Ежедекадные данные с ИСЗ позволили значительно уточнить характеристики льда как в юго-западной части моря, так и в северо-восточной. Большинство исследований было проведено для восьми крупных льдов: Юго-Восточная Земля Франца-Иосифа, Северная Новоземельская, Южная Новоземельская, Амдерминская, Ямальская, Обь-Енисейская, Центральная Карская, Западная Североземельская.



А



Б

Рис.9 Расположение полыней в Карском море: А - Юго-западная часть; Б -Северо-Восточная

По данным предыдущих исследований, к стационарным полыньям относятся Амдерминская и Обь-Енисейская, причем Обь-Енисейская существует с вероятностью в 75% в течение семи месяцев из восьми возможных (с ноября по июнь включительно). Юго-Восточная полынья относится к эпизодическим (её можно наблюдать в 50% случаев) и остальные

пять полыней относятся к устойчивым. Динамика устойчивости зависит от режима воздушных потоков над морем.

Морфометрические характеристики полыней, такие, как длина, ширина, площадь изменяются внутри месяца довольно часто и в широких пределах.

2. Исходные данные и методы их анализа

Мониторинг параметров ледяного покрова с использованием данных долгопериодных измерений спутниковых микроволновых радиометров дает возможность делать количественные оценки климатических изменений. Эти оценки, однако, зависят от используемых методов интерпретации спутниковых данных. Анализ физики формирования микроволнового излучения над морским льдом и его переноса в атмосфере дает возможность определить основные источники погрешностей в работе методов.

В данной работе данные были взяты с морского портала спутниковой лаборатории океанографии [57]. Для получения данных были взяты данные со спутника AMSR-2 с разрешением 6,25 км, что позволило получить более точные результаты анализа изучаемого явления, а именно – заприпайных полыней.

2.1 Спутниковые микроволновые данные

Дистанционное зондирование Земли – это наука и совокупность технологий, которые получают, обрабатывают и интерпретируют информацию о различных объектах земной поверхности без прямого физического контакта с этой поверхностью, посредством фиксирования отраженной солнечной энергии и излученной тепловой энергии (электромагнитного излучения) от земной поверхности, реализующегося сенсорами, которые располагаются на орбитальных спутниках планеты.

Методы спутникового дистанционного зондирования различаются по типу локации (активное, пассивное зондирование) и по диапазону электромагнитного спектра (видимый, инфракрасный (ИК) и микроволновый диапазон). В микроволновом диапазоне отдельно можно выделить данные радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), которые позволяют существенно (на несколько порядков) повысить пространственное

разрешение по сравнению с другими активными микроволновыми инструментами.

Обработка спутниковых снимков способна выявлять различные характеристики земной поверхности, такие как:

- определение преобладающего минерального состава открытых горных пород;
- выявление плотности и степени разрушения растительного покрова;
- преобладающего видового состава и плотности насаждений лесов;
- создания карт температуры воздуха, земной поверхности и поверхности водных объектов;
- определения влажности и минерального состава почвы;
- выявления пятен антропогенных загрязнений на суше и море;
- определение территорий с лесными пожарами, гарями, нелегальными вырубками и многое другое.

Для получения информации о ледяном покрове могут так или иначе использоваться все вышеперечисленные типы данных, и каждый из них имеет свои преимущества и ограничения.

Данные микроволновых инструментов – как активных (радиолокаторов), так и пассивных (радиометров) – позволяют изучать морской лед независимо от облаков и наличия солнечного освещения. В отличие от измерений радиолокаторов, данные спутниковых микроволновых радиометров позволяют восстанавливать такие параметры морского льда, как его сплоченность и тип (однолетний-многолетний) [1]. Мониторинг характеристик морского льда с использованием измерений микроволновых радиометров возможен благодаря их широкому пространственному охвату, регулярности и продолжительности хорошо калиброванных измерений [43]. Существуют десятки различных методов восстановления сплоченности ледяного покрова по данным микроволновых радиометров [15], но особый интерес представляют методы картирования морского льда с использованием

измерений вблизи 90 ГГц, поскольку эти методы позволяют строить карты с разрешением несколько км [35]. В частности, с использованием измерений японского микроволнового радиометра Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) может быть достигнуто разрешение 3 км [21].

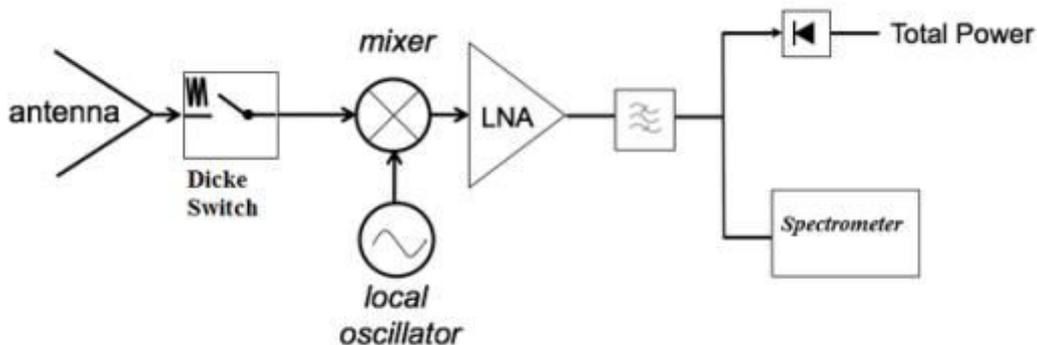


Рис.10 Блок-схема микроволнового радиометра

Микроволновые свойства морского льда зависят от частоты излучения и физических характеристик льда, которые, в свою очередь, определяются типом льда, историей формирования поверхности (кристаллической структурой и соленостью), ее шероховатостью и температурой. Существует большое разнообразие типов льда, классификация которых в наиболее полном виде представлена в номенклатуре ВМО морских льдов, которая постоянно уточняется и дополняется [11]. Возможности средств дистанционного зондирования по определению типов льда ограничены и существенно зависят от типа зондирования и пространственного разрешения инструментов. В работе специалистов ААНИИ [15] выделяются некоторые виды льда из международной номенклатуры, наблюдения за которыми успешно осуществляются дистанционными методами. На практике исследователи часто не используют единую терминологию в соответствии с международной номенклатурой. Так, например, в зарубежных публикациях по спутниковому пассивному микроволновому зондированию морского льда чаще всего используют термины «однолетний» (англ. First Year) и «многолетний» (англ. Multi-Year), различая лед, образовавшийся в текущем году, и лед, переживший зиму. Это связано с тем, что основное различие в

электромагнитных свойствах морского льда вносят характеристики раствора соли и пузырьков воздуха между кристаллами льда. Однолетний лед во всей толщине содержит много соляных карманов и мало пузырьков воздуха, в то время как у многолетнего льда в верхнем слое находится много воздушных пузырьков, а соляные карманы расположены в нижних слоях, мало влияющих на излучение [25].

Российские ледовые эксперты под термином «многолетний» понимают старый лед (лед с возрастом более 2-х лет) толщиной d более 3-х м, а под термином «однолетний» - морской лед, просуществовавший не более одной зимы, толщиной от 30 см до 2 м. Для только что образовавшегося льда используется термин «начальные виды льда» (англ. New), объединяющий ледяное сало, ледяные иглы, снежуру и шугу. Нилас (англ. Nilas) – это следующий по толщине тип льда с $d < 10$ см. Блинчатый лед (англ. Pancake) – пластины льда круглой формы от 30 см до 3 м в диаметре с $d < 10$ см. Молодой лед (англ. Young) – лед в переходной стадии от ниласа до однолетнего льда в его международной номенклатуре, толщиной $10 \text{ см} < d < 30 \text{ см}$.

При быстром формировании ледяного покрова кристаллы льда захватывают рассол и он остается во льду в виде солевых ячеек; при медленном замерзании образующийся лед близок к пресноводному [14]. Результаты теоретических расчетов коэффициента излучения однолетнего льда показывают, что для микроволновой радиации он практически непрозрачен уже на глубине порядка $\lambda/6$, где λ - длина волны излучения [54]. Это означает, что микроволновое излучение однолетнего льда формируется тонким поверхностным слоем не больше 1 см и не зависит от толщины. С другой стороны, экспериментальные данные свидетельствуют о радиоярких контрастах между только что образовавшимся, молодым и однолетним льдами [34, 37]. Для молодого льда характерно наличие поверхностного рассола, излучательные свойства которого – это свойства соленой воды. Данное обстоятельство затрудняет идентификацию молодого

льда по данным микроволновых радиометров [38]. С другой стороны, диэлектрические свойства этого поверхностного рассола коррелируют с толщиной льда, поскольку рассол образуется в процессе его формирования, что дает возможность определять толщину молодого льда микроволновыми методами [39, 44, 48]. Однако, поскольку замерзание/таяние такого насыщенного соленого раствора происходят при низких температурах воздуха, излучательные свойства молодого льда с таким рассолом на поверхности очень изменчивы и подвержены влиянию метеорологических условий [48, 32].

Меняет излучательные свойства поверхности и снег. Если он выпадает на поверхность моря с температурой ниже нуля, он пропитывается морской водой и способствует ее замерзанию (образуется так называемая снежура). Выпавший на поверхность льда снег рассеивает излучение льда и формирует собственное излучение. Характеристики обоих процессов сильно зависят от влажности снега, его плотности и частоты излучения [40]. Сухой снег на поверхности морского льда рассеивает излучение от нижележащего льда, что ведет к уменьшению эффективного излучения поверхности. Чем выше частота, тем сильнее рассеивающие свойства сухого снега, что дает возможность определять толщину сухого снега по величине градиентных соотношений в измерениях в Ku и Ka диапазонах [24]. В ряде работ проводится теоретическое моделирование излучательных характеристик многослойной системы морской лед – снежный покров и анализируется влияние свойств снежного покрова на результирующий коэффициент излучения для разных типов морского льда [46, 56]. В работе [1] показано, что вариации сплоченности ледяного покрова, восстановленной по данным спутниковых микроволновых измерений в областях центральной Арктики со сплошным ледяным покровом вызваны не чем иным, как вариациями характеристик снега. Более того, авторы делают вывод о влиянии долговременных трендов в параметрах атмосферы и, соответственно,

снежного покрова, на расчетные тренды в площади и протяженности ледяного покрова.

В работе [12] представлена электродинамическая модель излучения арктического ледяного покрова, разработанная с учетом физических и структурных характеристик снега и льда. Однако чаще всего при разработке методов используются результаты экспериментальных исследований, несмотря на то, что последние немногочисленны и всегда получены для конкретных условий: для определенных типов льда, состояний снежного покрова, сезона, региона и т.д.

Исторически первые измерения коэффициентов излучения (ϵ) морского льда проводились в рамках специально организованных самолетных экспериментов. Самолетные измерения радиометров в мае 1967 и июне 1970 гг. в районе Аляски подтвердили существование сильных радиоярких контрастов между морским льдом и водой и наличие двух типов морского льда в Арктике с разными радиометрическими свойствами на частотах 19 – 37 ГГц [55]. Впервые было сформулировано различие в электромагнитных свойствах однолетнего (FY, от англ. First Year) и многолетнего (MY, от англ. Multi-Year) морских льдов: на частотах ν ниже 40 ГГц излучение FY льда практически не зависит от ν , а излучение MY льда с ν уменьшается.

Весной 1977 г. Naval Research Laboratory провела серию экспериментов по измерению коэффициентов излучения различных типов льда в надир в Гренландском море для широкого диапазона ν от 14 до 90 ГГц [51]. Анализ результатов измерений позволил сформулировать ряд важных выводов, некоторые из которых подтверждаются и в последующих работах.

1) Коэффициент излучения многолетнего (MY) льда ϵ_{MY} MY уменьшается с частотой до 31 ГГц (с 0.9 до 0.8), а затем остается без изменений или слегка увеличивается. На 90 ГГц ϵ_{MY} MY составляет порядка 0.81 ± 0.04 .

2) Коэффициент излучения однолетнего (FY) льда ε_{MY} FY выше, чем у всех остальных наблюдаемых типов льда, составляет около 0.95 ± 0.03 и практически не зависит от ν .

3) Коэффициент излучения молодого (Y, от англ. Young) льда ε_Y ниже, чем ε_{FY} , составляет 0.91-0.94, слегка увеличиваясь с частотой.

4) Коэффициент излучения начальных форм льда (N, от англ. New) ε_N ниже, чем у молодого льда, составляет 0.85-0.92, растет с ν .

Самолетные измерения радиометров в рамках программы Norwegian Remote Sensing Experiment (NORSEX) в сентябре-октябре 1979 г. над кромкой морского льда к северо-западу от Шпицбергена позволили задокументировать значения коэффициентов вертикально (V, от англ. Vertical) и горизонтально (H, от англ. Horizontal) поляризованного излучения однолетнего и многолетнего льда под углом 50° к надиру для частот 4.9, 10.4, 21, 36 и 94 ГГц [45].

Позднее обширная серия измерений характеристик морского льда под тем же углом была проведена в разные сезоны года в рамках программы Marginal Ice Zone Experiment (MIZEX) в районе пролива Фрама [53, 52]. Результаты этих измерений в целом согласуются с выводами более ранних исследований, за исключением того, что авторы [53] рассматривают новый тип многолетнего льда – подтопленный многолетний лед (в международной номенклатуре отсутствует), свойства которого в прикромочной ледовой зоне за счет подтопления и проникания морской воды в верхние слои льда оказываются близки к свойствам однолетнего льда. В этом случае разделить однолетний и многолетний лед не представляется возможным. Кроме того, значения коэффициентов излучения для начальных видов льда оказались ниже: $\varepsilon_{Ni}^H = 0.5 - 0.85$, $\varepsilon_{Ni}^V = 0.7 - 0.89$ для ниласа (Ni от англ. Nilas), $\varepsilon_P^H = 0.63 - 0.75$, $\varepsilon_P^V = 0.75 - 0.85$ для блинчатого льда (P от англ. Pancake). Для однолетнего льда толщиной более 30 см были получены значения $\varepsilon_{FY}^H = 0.85 - 0.87$, $\varepsilon_{FY}^V = 0.9 - 0.91$. Летние условия, приводящие к появлению влажного

слоя снега или льда на поверхности приближают электромагнитные свойства многолетнего льда к свойствам однолетнего. Это подтверждено независимыми измерениями ϵ_{MY} в летний период в разных частях Арктики [31, 42].

Серия более поздних экспериментов в 90-е годы прошлого века частично подтвердила основные выводы ранних работ: коэффициенты излучения толстых однолетних льдов близки к 1 и уменьшаются по мере старения льда (вытекании рассола из соляных карманов) на частотах вблизи 90 ГГц [33].

Самолетные измерения коэффициентов излучения льда ϵ крайне ограничены по пространственному и временному охвату, зато расчет атмосферной коррекции, как правило, отличается высокой точностью, поскольку основывается на прямых измерениях метеорологических параметров [51, 31, 33]. Определение ϵ по данным спутниковых радиометров всегда сопровождается существенными ошибками, связанными с отсутствием информации по параметрам атмосферы для корректного определения ее вклада в результирующее излучение системы. Например, в работе [27] исследуются эффективные коэффициенты излучения по данным SMMR, под которыми подразумеваются отношения измеренных T_a к температуре поверхности, а коррекция на атмосферу не проводится вовсе. А в исследовании [41] карты ϵ получаются на основе использования данных European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) для расчета характеристик атмосферного поглощения и излучения. Стоит отметить, что данные анализа и ре-анализа как по параметрам атмосферы, так и по температуре поверхности снега и льда отличаются существенными ошибками, которые влияют на погрешности расчета коэффициентов излучения поверхности. В случае использования данных ИК радиометров по температуре поверхности (ТП) к источникам погрешностей определения ϵ добавляется градиент температуры в поверхностном слое. ИК радиометры

измеряют ТП поверхностного слоя, и в весенне-летний период, когда профиль температуры снега и льда отличается изотермичностью, эти погрешности относительно невелики [41]. Однако, в зимний период температурный градиент может служить причиной существенного завышения ϵ [50].

Резюмируя обзор работ по изучению микроволновых коэффициентов излучения морского льда, можно сделать следующие выводы:

- морской лед в Арктике представляет собой сложную многослойную систему, электромагнитные характеристики которой зависят от типа и структуры льда, наличия и свойств снежного покрова, истории формирования поверхности и пр.;

- модели коэффициента излучения системы морской лед-снег позволяют рассчитывать ϵ для широкого диапазона параметров снега и льда, однако практическое применение этих моделей ограничено отсутствием информации по данным параметрам;

Надежные экспериментальные измерения ϵ ограничены и не дают представления о детальной картине пространственно-временной изменчивости излучательных характеристик всех типов морского льда для всех частот и углов зондирования. Однако, для некоторых типов льда определенная систематизация результатов экспериментальных исследований возможна:

- максимальным и практически не зависящим от частоты в диапазоне 1-100 ГГц коэффициентом излучения, близким к 1 обладают однолетние (FY) льды;

- излучение молодых (Y) льдов ниже, чем FY, а начальных форм льда (N) ниже, чем Y, увеличивается с частотой ν ;

- излучение многолетнего (MY) льда ниже, чем FY, существенно зависит от ν (уменьшается с ν и может достигать значений, близких к излучению открытой воды) и параметров снежного покрова.

- все типы льда на углах, близких к 50° , демонстрируют низкую поляризованность излучения: коэффициенты излучения на вертикальной поляризации V лишь незначительно превышают коэффициенты излучения на горизонтальной поляризации H .

2.2 Усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр (AMSR-2)

AMSR-2 является аббревиатурой для этого сканирующего микроволнового радиометра (Advanced Microwave Scanning Radiometer — 2). В грубом переводе на русский язык, это означает «усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр». Японский спутник «Сидзуку», запущенный в 2012 году, был создан для дистанционного зондирования земли и именно AMSR-2 является его научным инструментом [54]. Когда спутник был только запущен, ему давали немного времени существования, относительно его коллег. Выдвигались различные оценки, но большинство предполагало, что он может быть в рабочем состоянии около трех-пяти лет. Как известно, AMSR-2 был запущен на орбиту 18 мая 2012 года. Три года прошли, но спутник все ещё продолжал успешно функционировать и отправлять данные. Через пять лет, в 2017 году, срок работы прибора был продлён до того момента, как прибор придет в полной недееспособность.

Как прибор спутникового зондирования, AMSR-2 может применяться в различных сферах геофизики. Так, с его помощью можно получать данные о влажности или распределение влаги на поверхности Земли, что, безусловно, полезно для гидрографов и географов всего мира. Также с его помощью можно получать данные о температуре воды, снега, льда. Абсолютно очевидно, что эти данные жизненно необходимы для отслеживания любых изменений, как микроклимата, так и макроклимата нашей планеты [26]. Анализ данных о влажности имеет также ещё одно большое преимущество — на их основе можно отследить более засушливые районы Земли, нежели менее, а также попытаться спрогнозировать, где с большей вероятностью в

тот или иной год будет засуха и связанное с ней падение урожайности культур сельского хозяйства [49]. Как известно, разные виды рыб предпочитают различные температурные условия для жизни, в связи с чем знание о том, где поле температур выше, а где ниже является существенным подспорьем при рыбном промысле.

Сигнал, который принимается антенной, имеет как горизонтальную, так и вертикальную поляризацию. Измерение температуры, которое может производить спутник, довольно широко – диапазон составляет около 300 К от 2,7 до 340К. При этом разрешение получаемых данных не сильно от этого страдает и дает достаточно четкую картинку – при применении нужных алгоритмов обработки, можно получить разрешение, которое составляет 5 км. Землю спутник полностью облетает за двое суток [54]. В 2012 году, когда спутник только был запущен, AMSR-2 мог похвастать самой большой подвижной параболической антенной для наблюдения за планетой.

Получаемые с помощью AMSR-2 данные передаются с помощью иерархического шифрования. В то время, как для работы с необработанными данными были разработаны многие программные пакеты, английский пакет *AMSR2 Product I/O Tool Kit* (АМТК) считается наиболее широко применяемым. Обработанные с помощью этих программных пакетов данные делятся на отдельные блоки, каждый из которых соответствует наблюдениям вдоль половины орбиты. Через каждые 16 дней полоса сканирования повторяется, а также повторяется и нумерация блоков (от 1 до 233) вместе с буквенным индексом (для восходящего сканирования – буква D, для нисходящего – буква A). Такое представление данных было отработано в свое время на предыдущем спутнике, к которому относится AMSR-E. Сканирование снизу вверх проходит от Южного полюса к Северному (в дневное время) и сверху вниз — от Северного полюса к Южному (в ночное время). [29].

Данные с радиометра находятся в открытом доступе и любой пользователь может скачать их для собственных нужд. Тем не менее, данные

имеют некоторые ограничения и предоставляются они в определенных вариантах [29]:

- англ. *Level 1A (L1A)* — данные, не прошедшие обработку;
- англ. *Level 1B (L1B)* — сюда причисляются данные, прошедшие первичную обработку, в том числе и данные о яркостной температуре объектов;
- англ. *Level 2 (L2)* — в эту категорию входят данные, с помощью которых можно провести дальнейший анализ параметров воды и влажности. Эти данные основываются на L1B;
- англ. *Level 3 (L3)* — в эту категорию причисляются данные, которые имеют разрешение до 1 градуса, в частности 0,1 и 0,25 градуса; если данные причисляются к этой категории, то значения яркостных температур называются L3TB, в то время, как значения, описывающие различные геофизические параметры называются L3GEO.

После этого, на основании перечисленных данных, в открытом доступе есть 8 продуктов, которые может также скачать пользователь [36]: это, в первую очередь, температура поверхности моря, с помощью которой можно отследить влияние фронтов и другие показатели; скорость ветра над морем, непосредственно влияющая на приповерхностный слой; концентрация водяного пара в атмосфере, что косвенно может указать на количество парниковых газов в атмосфере; характеристики льда (концентрация морского льда и толщина снежного покрова), которые важны для гляциологов при различных исследованиях.

В данной работе, разумеется, самое большое внимание было уделено продуктам, касающимся характеристик льда – концентрации морского льда, а также толщине снежного покрова.

2.3 Использование SIOWS: Arctic для мониторинга динамики заприпайных полыней

Основной инструментарий, использующийся в данной работе для изучения заприпайных полыней, находится на официальном сайте Спутниковой лаборатории [57]. Лабораторией была создана собственная Web ГИС, позволяющая пользователям не только получать изображение спутниковых снимков в реальном времени за требуемый период, но и работать с полученными данными. Данная система называется СИОВС (Система Информирования об Океанических Внештатных Ситуациях).

- это Web ГИС, предназначенная для отображения различных спутниковых, контактных и модельных данных;
- использует разработанные в лаборатории технологии хранения, обработки и визуализации оперативных и архивных данных;
- позволяет осуществлять синергетический анализ исторических данных, а также мониторинг текущего состояния и динамики системы “океан-атмосфера-криосфера” в Арктическом регионе и её прогноз, на основе термодинамических моделей с усвоением спутниковых данных.

Общей концепцией программы является оперативность и репрезентативность данных. Основной целью – решение основных проблем, возникающих при работе со спутниковыми данными: объём, доступ, формат, комбинирование. Также ГИС предоставляется пользователям быстрый и гибкий инструмент для поиска, анализа и извлечения готовых продуктов из большого разнообразия данных, которые точно соответствуют потребностям и интересам.

Рассматриваются типы спутниковых измерений, пригодных для изучения свойств морского льда: активные и пассивные микроволновые данные, а также данные спектральных радиометров в инфракрасном (ИК) и видимом диапазонах. Каждый тип спутниковых данных имеет свои ограничения. Наиболее подходящими всесезонными данными

дистанционного зондирования для изучения морского льда являются данные микроволновых инструментов, позволяющие проводить его регулярный оперативный мониторинг.

Существующие мировые ресурсы карт морского льда и спутниковых продуктов по характеристикам морского льда либо не находятся в свободном доступе, либо имеют ограничения по содержанию. На Арктическом портале доступны несколько типов спутниковых данных для изучения морского льда: изображения радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1, 8-дневные оптические данные MODIS, оптические и ИК данные MODIS оригинального пространственного и временного разрешения, карты морского льда Норвежского метеорологического университета, продукт по сплоченности морского льда на основе измерений микроволнового радиометра.

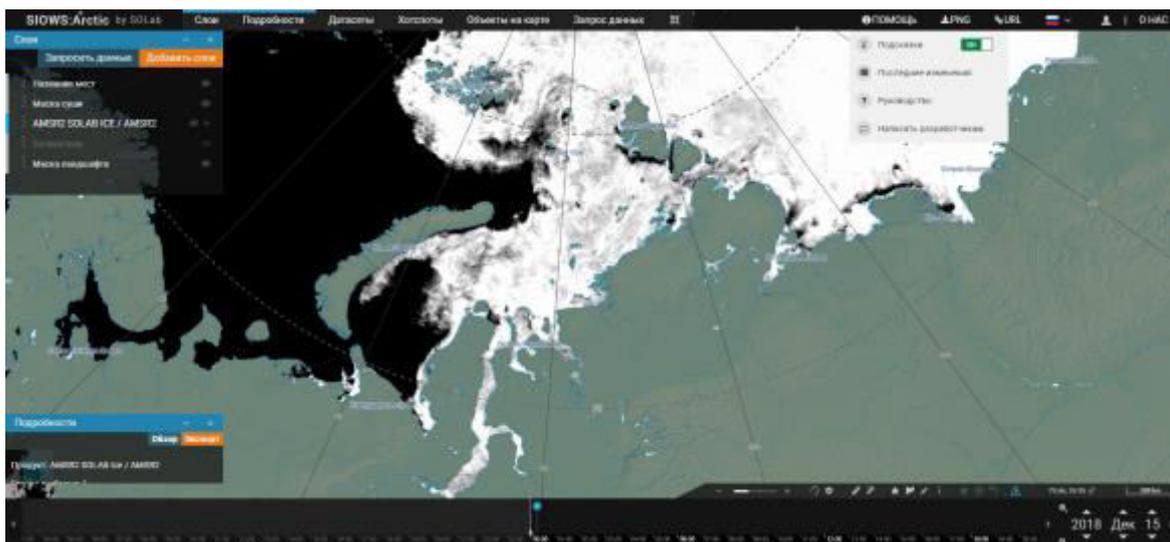


Рис.11 Интерфейс пользователя

Как можно увидеть на рис.11, использование ГИС достаточно просто даже для неподготовленного пользователя. В нижней части программы находится окно с инструментами, а также интуитивно понятная полоса прокрутки дат.

В верхней части ГИС находится инструментарий, позволяющий выбирать и работать непосредственно со снимками – выбор требуемых для обработки слоев, масок и прочего. Существует возможность экспорта данных в распространенных форматах, а также запрос непосредственно

разработчикам программного обеспечения, если вдруг данные за какой-либо требуемый период были утрачены или оказались поврежденными.

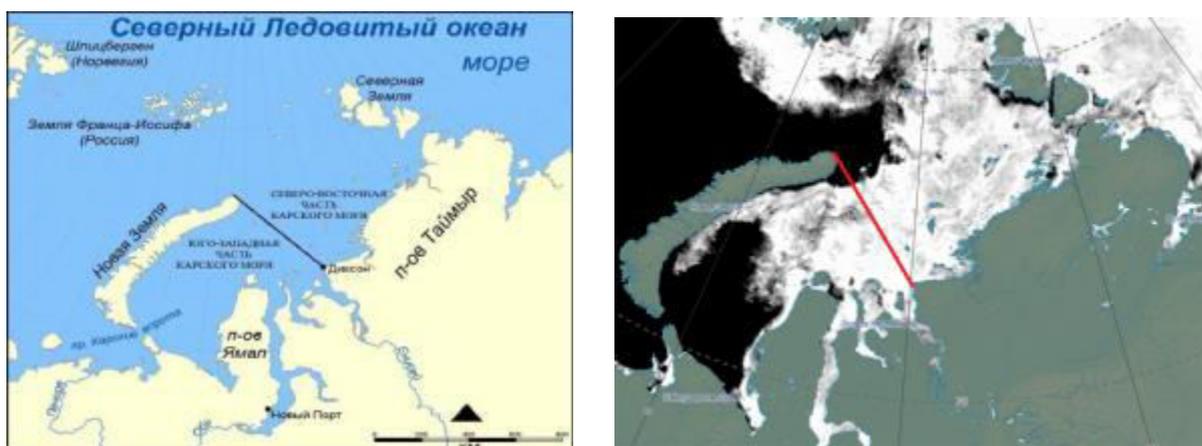


Рис.12 Районирование Карского моря

Основными инструментами, которые были использованы в этой работе, являются инструменты «Линейка» (“Ruler”) и «Полигон» (“Polygon”).

С помощью инструмента Линейка были измерены ширина и длина изучаемого явления.

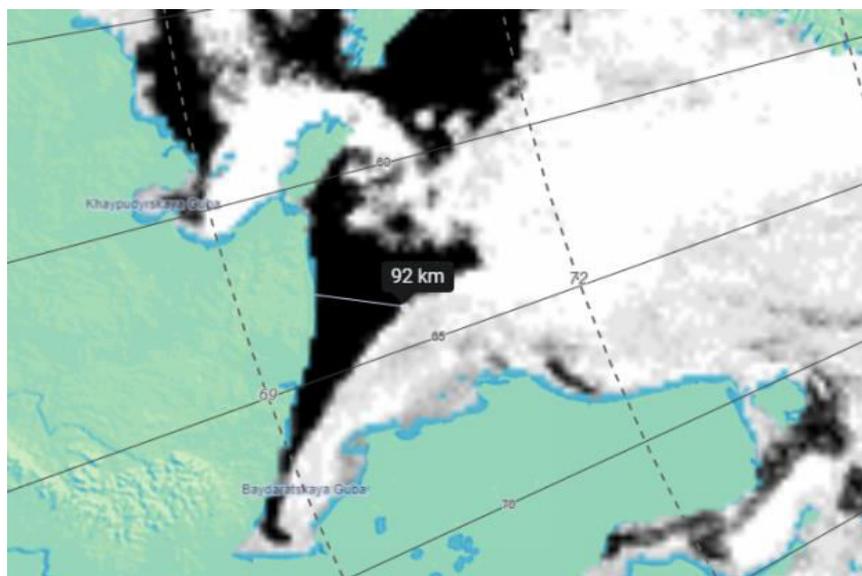


Рис.13 Измерение Амдерминской полыньи инструментом Линейка

На рисунке 13 показан пример измерения инструментом Линейки Амдерминской полыньи, которая была зафиксирована 31 марта 2019 года. Как можно отметить, измерение является быстрым и показательным, что особенно важно в тех случаях, когда нужно обработать большое количество данных или измерить множество объектов на карте за ограниченное время.

С помощью инструмента Полигон были получены данные площадей и периметра измеряемой полыньи.

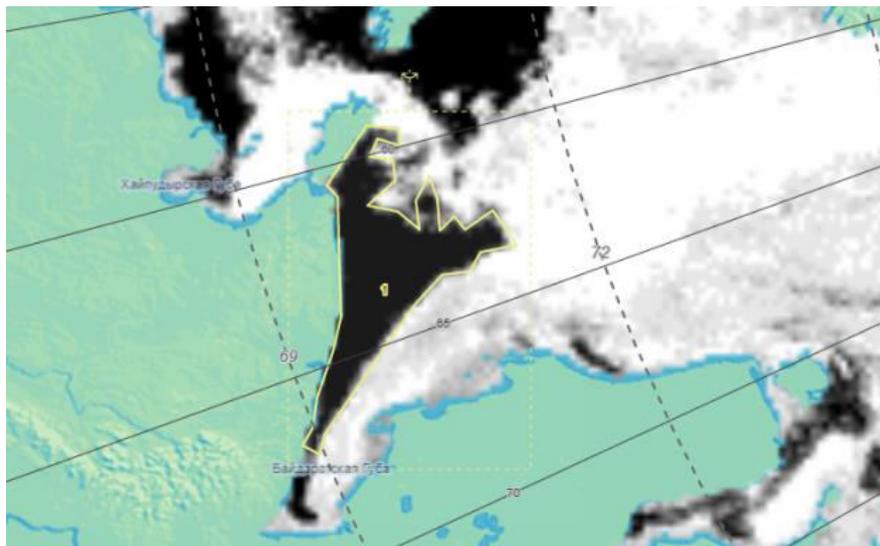


Рис.14 Измерение Амдерминской полыньи инструментом Полигон

Инструмент Полигон также является простым и быстрым в обращении. Пользователю следует обозначить контур изучаемого явления (в данном случае – Амдерминскую полынью) и ГИС посчитает площадь и периметр автоматически.

Вывод данных о выделенном объекте получается в отдельном окне.

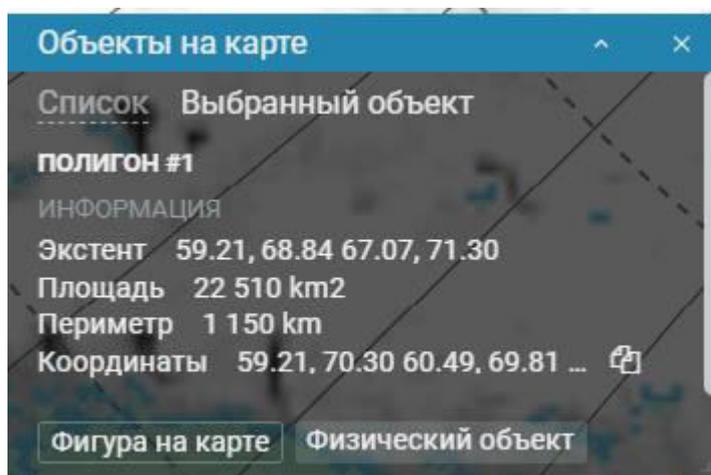


Рис.15

Как видно из рис.15., обозначив контуры полыньи, были мгновенно получены её морфометрические данные – согласно программе, её площадь составила 22 510 км², периметр 1150 км.

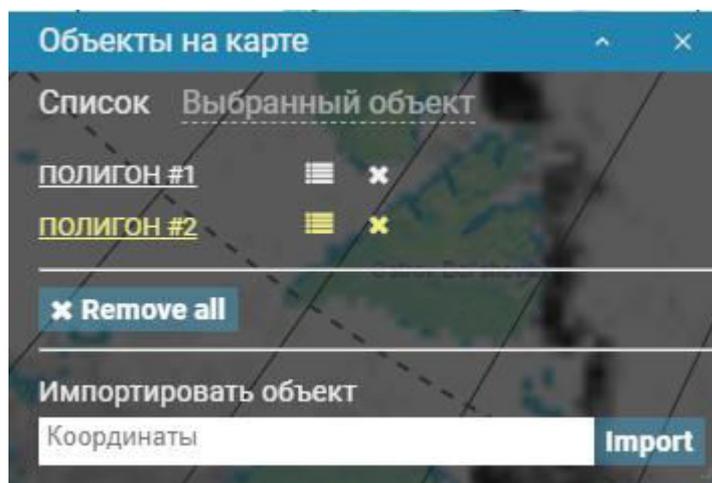
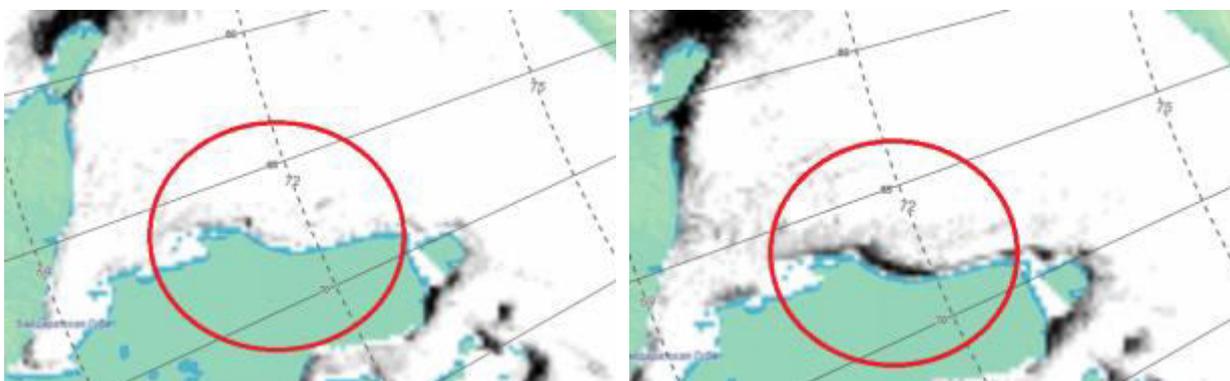


Рис.16

В том случае, если пользователю требуется выделить несколько полигонов, возможна функция переключения между несколькими полигонами, которые не будут удалять предыдущие данные, а сохранят их на то время, пока пользователь остается в системе.

Пользуясь этим инструментарием, было подтверждено существование полыней юго-западной части Карского моря [26, 29], а именно: Новоземельская, Южная Новоземельская, Амдерминская, Ямальская и Обь-Енисейская. Из них устойчивы (наблюдаются 75% времени ледового периода): Северная Новоземельская, Южная Новоземельская. Стационарны (наблюдаются 50% ледового периода): Амдерминская, Ямальская и Обь-Енисейская. В северо-восточной части же было подтверждено существование Центральной Карской полыньи и Западной Североземельской.



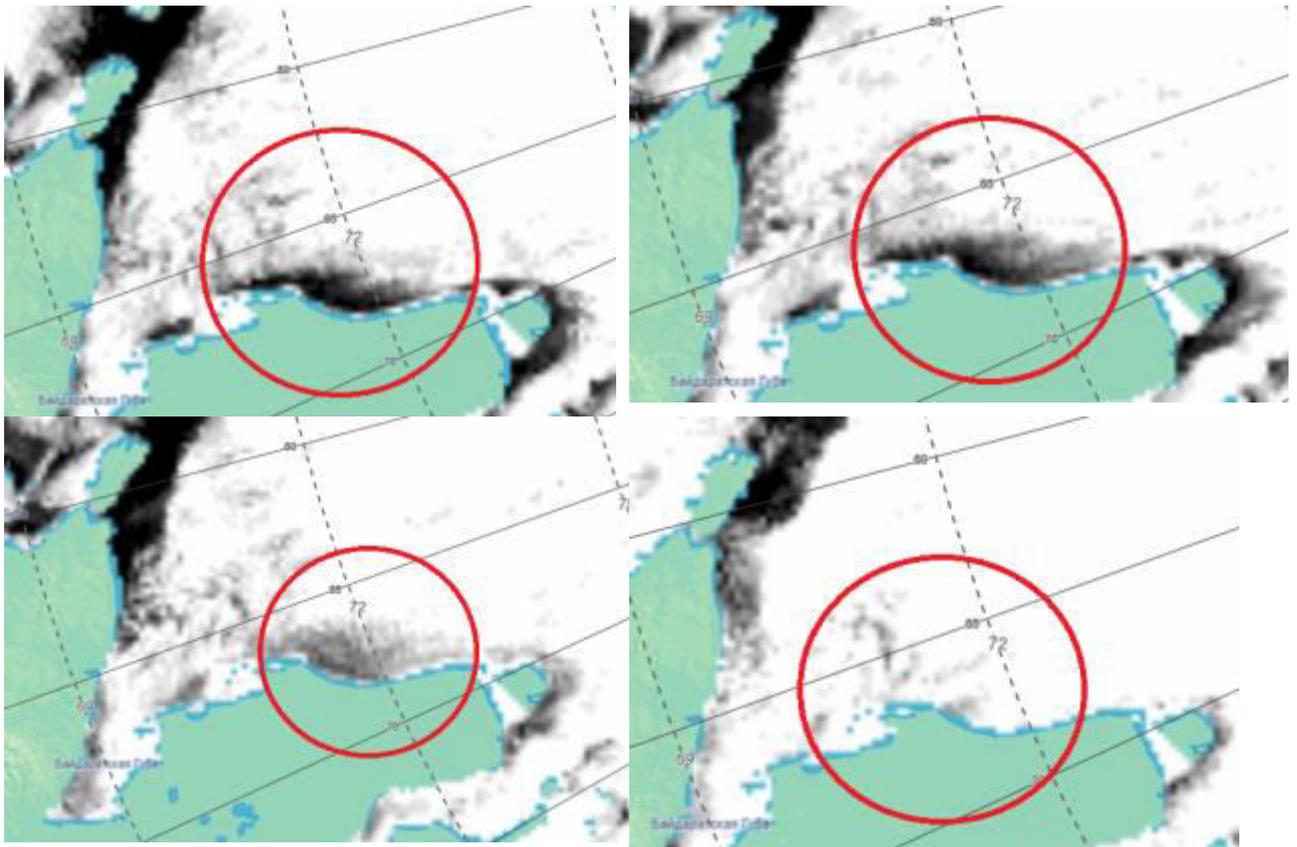


Рис.17 Динамика заприпайной полыньи

В качестве иллюстрации проделанной работы, предлагается образец на рис.17. Данная заприпайная полынья была зарегистрирована с 13 по 19 января 2016 года. По принятой классификации эта зона определена, как область распространения Ямальской полыньи. Эта часть Карского моря относится к Юго-Западному району. В этой части процессы ледообразования проходят намного быстрее и интенсивнее, нежели в Северо-Восточной части. Динамику её распространения можно с легкостью отследить на спутниковых изображениях.

- 14 января на месте Ямальской полыньи не наблюдается ничего примечательного, ледовый покров выглядит непрерывным.
- 15 января наблюдается быстрое раскрытие полыньи. Её ширина составила 19,4 км, длина 98 км, площадь 1366 км², периметр 231 км.
- 16 января размер полыньи продолжил расширяться. Ширина её уже составила 39 км, длина 205 км, площадь 4304 км², периметр 443 км.

- 17 января рост полыньи пошел на убыль: ширина уменьшилась до 20 км, длина – до 188 км, площадь до 3466 км², периметр 366 км.
- 18 января полынья исчезает и её заменяет тонкий, молодой лед.
- 19 января все следы полыньи исчезают.

Таким образом, путем достаточно простых и быстрых манипуляций, можно узнать основные морфометрические характеристики любого явления. Данные далее можно использовать для дальнейшего анализа, будь то отслеживание межгодовых изменений, или межсезонных, или нахождение средних значений.

3. Изучение динамики заприпайных полыней

Заприпайные полыньи – неотъемлемая часть зимнего ледово-гидрологического режима арктических морей. Их существование полностью зависит от ветрового режима над морем. Они представляют собой значительные по ширине и протяженности (от десятков до сотни километров) участки с чистой водой или молодым льдом толщиной от 5 до 30 см, а также зоны редких и разреженных льдов сплоченностью не более 5 баллов, которые образуются между припаем и дрейфующими льдами в холодный период.

Исследование динамики изменений морфометрических данных полыней имеет несомненный научный и практический интерес.

3.1 Использование спутниковых данных AMSR-2 для изучения заприпайных полыней Карского моря

Для изучения динамики заприпайных полыней были использованы спутниковые данные AMSR-2, расположенные в открытом доступе на портале SIOWS [57]. Для их исследования были собраны данные о ширине, длине, площади и периметре каждой отдельной полыньи в период с января 2003 года по май 2019 года. Разрешение использованных данных составляло до 5 км, что является достаточно мелким масштабом. Это позволило выявить намного большее количество мелких полыней, которые могли быть пропущены или не выделены в связи с большим масштабом спутниковых данных. В свою очередь, это позволило расширить запас полученных данных и увеличить точность анализа, которая была недоступна ранее.

После получения данных, они были проанализированы и усреднены. Среднемесячные характеристики заприпайных полыней, хотя и не могут подробно характеризовать динамическую основу их формирования, тем не менее достаточно точно говорят о среднемноголетних гидрометеорологических процессах, происходящих в данном районе моря.

В таблице (Приложение А) приведены данные за январь 2003 – май 2019 года, рассчитанные по данным ИСЗ. Для ознакомления они представлены в виде средних данных (1 декада была приравнена к 10 учетным дням) и среднемесячных данные по льдине. Места пропусков в таблице означают, что в этот момент времени на данном участке льдине не наблюдалось.

Проанализировав полученные данные, можно отметить сильную внутримесячную и внутригодовую изменчивость, также как и изменчивость между годами и между сезонами.

По замечаниям предыдущих исследователей, можно сделать несколько выводов о происхождении и генерации льдине в этом море. Так как было рассмотрено 8 районов льдине, следует рассмотреть влияние внешних факторов на них. Более подробно эта информация будет рассмотрена в главе 3.3 на основании полученных в этой работе данных.

Юго-Восточная льдина земли Франца-Иосифа располагается к юго-востоку от припая островов Земли Франция-Иосифа – Сальм, Земля Вильчека, Грэм Белл, Ева-Лив. Протяженность льдины по данным, полученным за указанный период, варьируется от 7 до 290 км, ширина от 3 до 261 км, площадь – от 79 до 15685 км². Эта льдина формируется преимущественно под влиянием воздушных потоков в северо-западной части Карского моря и иногда под действием адвекции тепла из Баренцева моря. По площади эта льдина – самая маленькая среди всех льдин Карского моря.



Рис.18 Расположение полыньи Юго-Восточной Земли Франца-Иосифа

Северная Новоземельская полынья образуется под действием отжимных ветров вдоль восточного побережья Северного острова Новой Земли от пролива Маточкин Шар до мыса Желания. Протяженность полыньи может меняться от 9 до 387 км, ширина от 5 до 281 км, площади полыней – от 241 до 18650 км². Полынья формируется преимущественно под воздействием ветра только в самой северной части, от мыса Опасного до мыса Желания, при устойчивых западных ветрах проявляется влияние тепла из вод Баренцева моря.



Рис.19 Расположение Северной Новоземельской полыньи

Южная Новоземельская полынья образуется вдоль припая восточного побережья Южного острова Новой Земли от пролива Карские Ворота до пролива Маточкин Шар. Протяженность полыньи меняется от 19,7 до 593 км, ширина от 4 до 126 км, площадь минимальная составила 149 км², тогда как максимальная 32105 км². Полынья может очень сильно развиваться при интенсивных южных и юго-западных ветрах. В такие годы сказывается и влияние теплых вод из южной части Баренцева моря, приносимых через пролив Карские ворота.



Рис.20 Расположение Южной Новоземельской полыньи

Амдерминская полынья образуется вдоль прибрежного припая от пролива Карские Ворота до южной оконечности Байдарацкой губы. Протяженность полыньи составила от 5,5 до 560 км, ширина от 2,4 до 560 км, площадь от 108 до 39993 км². Широкая полынья образуется при очень интенсивных отжимных ветрах южного направления. В таких случаях годовалые льды отходят далеко от побережья и Амдерминская сливается с Ямальной. Формируется обширная зона чистой воды и молодых льдов. На быстрое образование тонких годовалых льдов в море в такие годы влияет в основном температура воздуха.



Рис.21 Расположение Амдерминской полыньи

Ямальская полынья образуется под действием отжимных воздушных потоков вдоль прибрежного припая от Байдарацкой губы до о.Белый. Протяженность полыньи составляет от 11 до 581 км, ширина от 2,4 до 448 км, площадь от 229 до 21513 км². Все изменения линейных характеристик полыньи связаны преимущественно с направлением и интенсивностью воздушных потоков.



Рис.22 Расположение Ямальской полыньи

Обь-Енисейская полынья начинает формироваться с первых дней образования припая и существует до его разрушения. Полынья начинается от северной оконечности о.Белый и продолжается до мыса Северо-Восточный у восточного входа в Енисейский залив. Формирование полыньи происходит

под постоянным влиянием теплых стоковых пресных вод рек Оби и Енисея. Большая изрезанность кромки полыньи значительно увеличивает её длину во время повышения температуры воздуха и взлома припая на северных входах в Обский и Енисейский заливы. Протяженность полыньи меняется от 3 до 288 км, ширина от 3,1 до 210 км, площадь от 78 до 55008 км². Площадь полыньи в большей мере зависит также от температуры воздуха в наиболее холодные месяцы.



Рис.23 Расположение Обь-Енисейской полыньи

Центральная Карская полынья образуется под действием отжимных южных, юго-восточных и восточных ветров. Она начинает формироваться с самого начала образования припая. Полынья располагается за припаем от мыса Северо-Восточный до мыса Челюскина. Это самая большая полынья в Карском море, её длина может изменяться от 12,2 до 680 км, ширина – от 3,4 до 82 км, площадь от 70 до 18245 км². Как и у всех полыней Карского моря, её максимальная ширина отмечается в июне, когда резко повышается интенсивность таяния льдов. В это же время резко возрастают площади всех полыней.



Рис.24 Расположение Центральной Карской полыньи

Западная Североземельская полынья образуется вдоль прибрежного припая вдоль островов Северной Земли от мыса Неупокоева до мыса Арктический. Полынья образуется под действием отжимных восточных ветров. Её ширина изменяется от 3,5 до 90 км, длина – от 5,4 до 292 км, площадь – от 19,6 до 1985 км². Последнее зависит преимущественно от интенсивности и направления воздушных потоков.



Рис.25 Расположение Западной Североземельской полыньи

3.2 Межгодовая и межсезонная изменчивость

Подвергнув данные обработке и систематизации, следующим этапом работы был анализ полученных данных. Безусловно, для анализа нужен был обширный массив данных, требующий больших и трудоемких описаний данных. Как уже было указано выше, данные были получены при помощи спутниковых снимков AMSR-2 с интернет-портала спутниковой лаборатории ГИС [57] с разрешением от 6 км. После этого данные обрабатывались в пакете Microsoft Excel и пакете программ STATISTICA. В результате, были получены кривые колебаний морфометрических характеристик восьми полыней в Карском море.

Многими исследователями выделяется как различное количество существующих полыней, так и различный учетный период. В работе [8] рассматривался исключительно период с октября по май, тогда как в работе [7] учетный период был более обширен и охватывал период с ноября по июнь включительно. Учитывая то, что ледовые условия Карского моря, в среднем, находятся именно в периоде, схожем с тем, который указан в [7], более целесообразным казалось рассмотрение именно с ноября по июнь.

Также в работе [8] рассматривались только полыни Северо-западной части Карского моря, тогда как в [7] было использовано более расширенное распределение областей. Для большей показательности и репрезентативности данных было принято решение пользоваться именно той классификацией, которая была дана И.Д. Карелиным и В.П. Карклиным.

Таким образом, были рассмотрены следующие полыни:

- ЮЗФИ – Юго-Восточная Земли Франца Иосифа;
- СНЗ – Северная Новоземельская;
- ЮНЗ – Южная Новоземельская;
- АМ – Амдерминская;
- ЯМ – Ямальская;
- ОЕ – Обь-Енисейская;

- ЦК – Центральная Карская;
- ЗСЗ – Западная Североземельская.

Заприпайные полыньи, особенно большие по площади, служат путями перемещения барических образований, местами их регенерации и циклогенеза; расположение устойчивых и стационарных полыней совпадает с положением климатических фронтов. Площади заприпайных полыней, изменяясь в течение месяца, внутри года, от года к году, в некоторых районах являются долгопериодным и климатообразующим факторов.

Таковыми полыньями в Карском море являются Амдерминская, Обь-Енисейская и Центральная Карская.

Получив изначальный массив данных, было проведено осреднение данных за месяц. Таким образом были получены графики межсезонной изменчивости морфометрических характеристик полыней в Карском море с 2003 года по 2019 год.

В начале исследования для понимания средних показателей развития полыней и механизма их жизни были построены графики изменения площадей в среднем за первые 10 дней их существования (декадное значение).



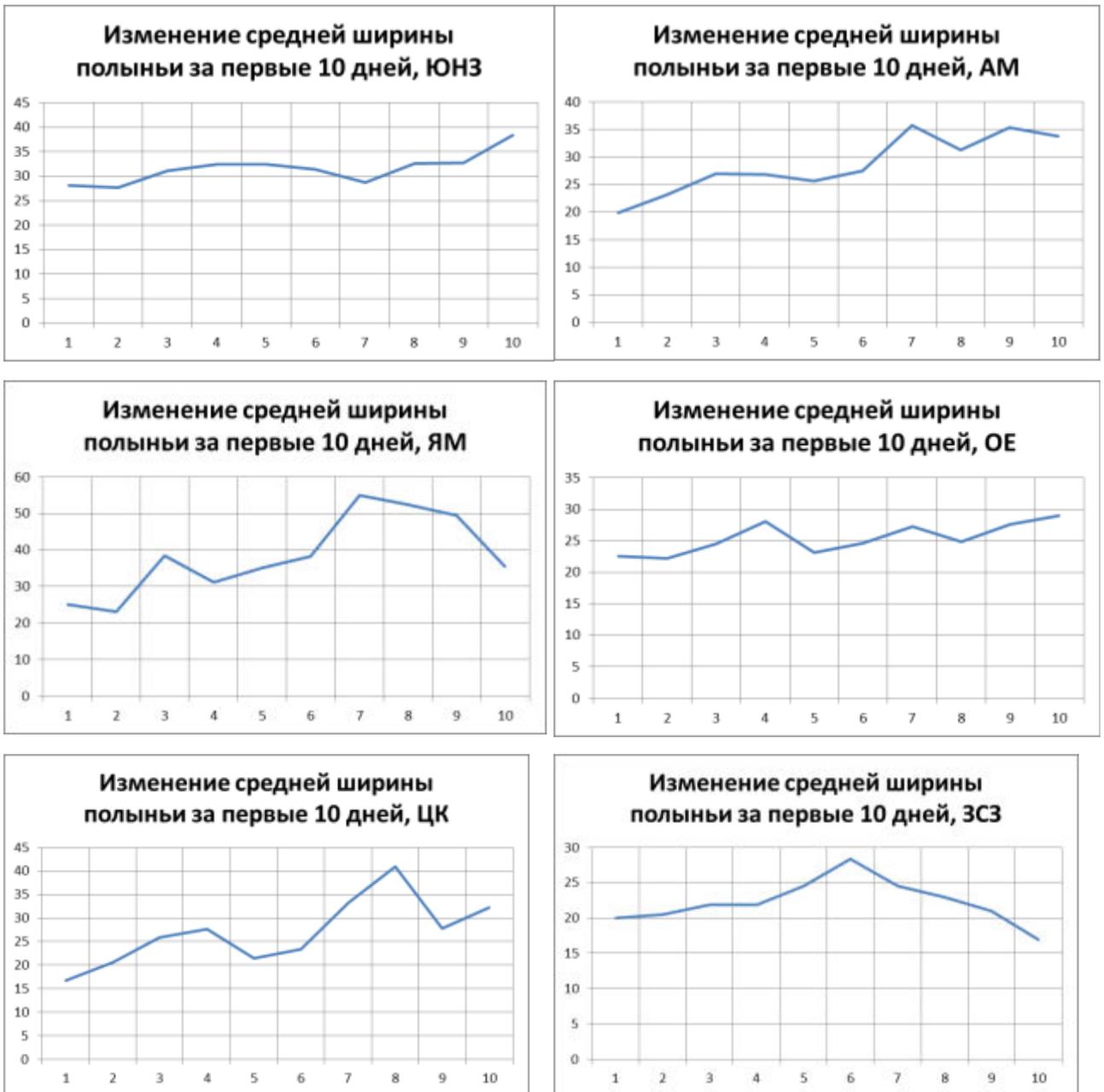
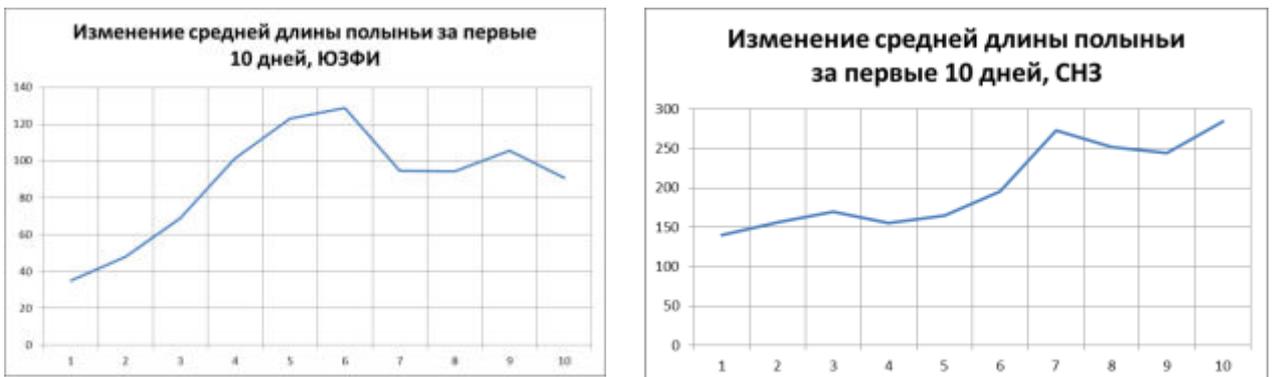


Рис.26 Изменение средней ширины полыньи за первые 10 дней существования

Также была рассчитана средняя длина полыней за первые десять дней.



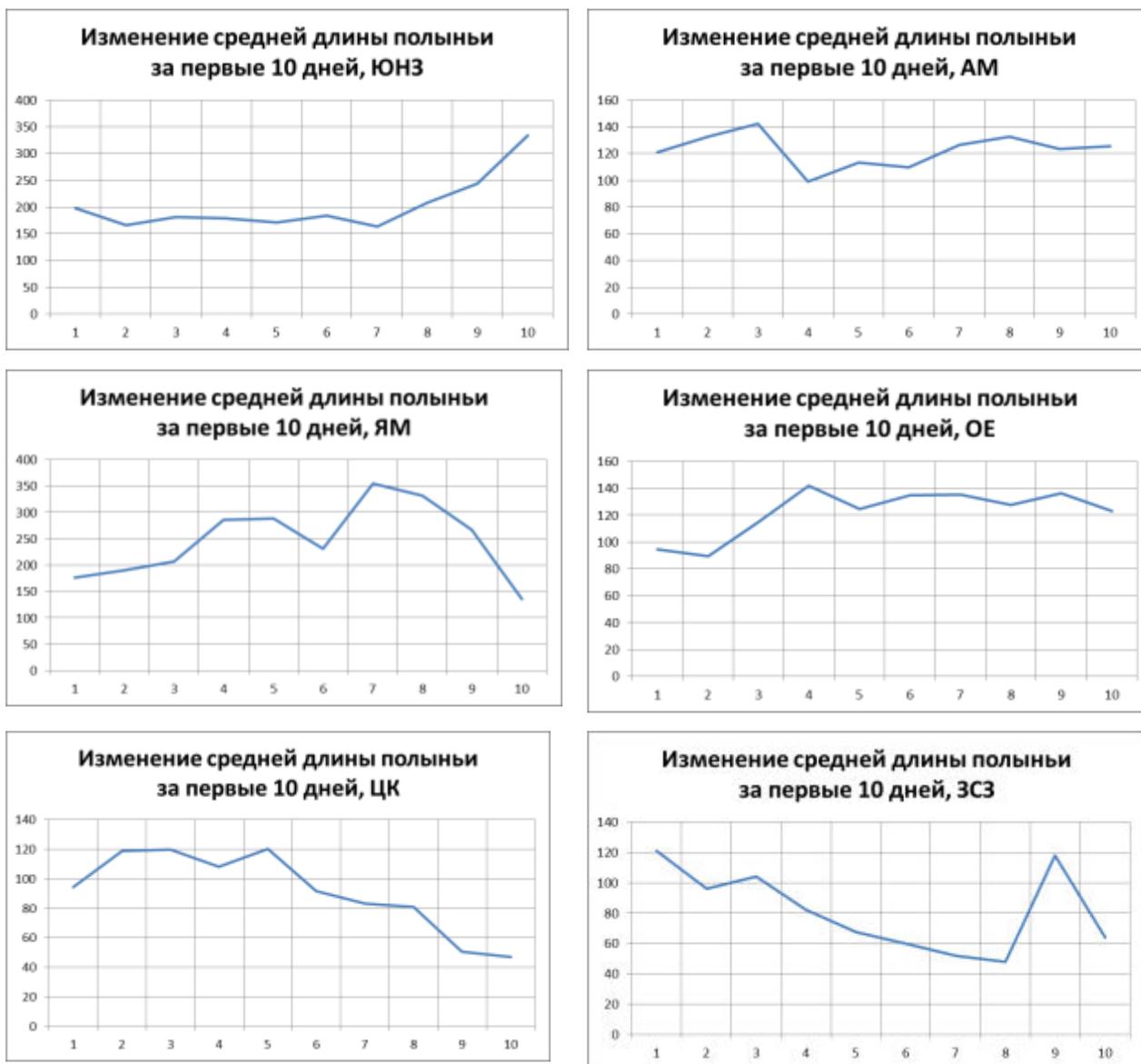


Рис.27 Изменение средней длины полыней за первые 10 дней

Проанализировав полученные графики, можно утверждать, что за первые десять дней размеры длины и ширины полыньи резко разнятся в зависимости от расположения и области, в которой расположена полынья. Так, Западная Северо-Земельская полынья имеет свою наивысшую площадь именно в первые дни развития, затем наблюдается резкий спад и на девятый день развития наблюдается резкий скачок. Разумеется, большинство полыней не существуют столь долгий срок и множество схлопываются уже к четвертому дню (поведение, свойственное полыньям и в других районах), однако у тех, которые все ещё существуют к этому моменту, есть повышение средних значений. Примерно такая же картина наблюдается и в случае с

Центральной Карской полынью – средние значения наблюдаются в момент её раскрытия, затем идет небольшое поднятие значений, после чего до десятого дня можно увидеть плавный спад ширины и длины. Что касается других полынй, то с ними все более и менее логично и распределяется по стандартному нормальному распределению – сначала наблюдаются пониженные средние значения, которые плавно повышаются к пятому дню, а затем понижаются к окончанию рассматриваемого декадного периода.

Далее было рассмотрено развитие площади полынй за десять дней:



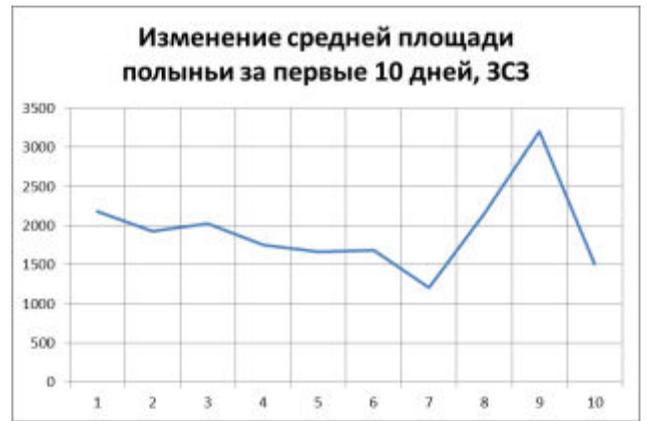
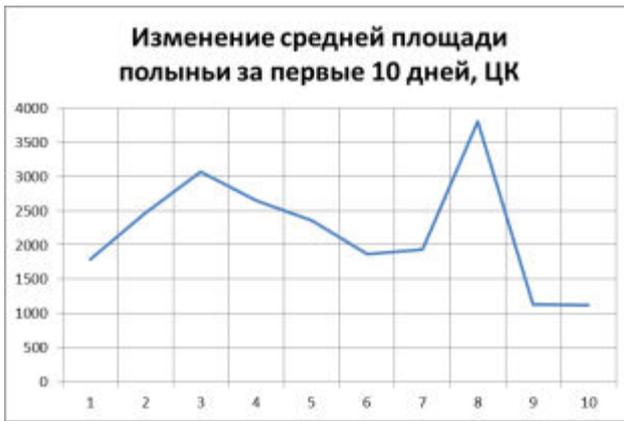


Рис.28 Изменение средней площади полыньи за первые 10 дней

А также было рассмотрено изменение значений периметра полыньи:



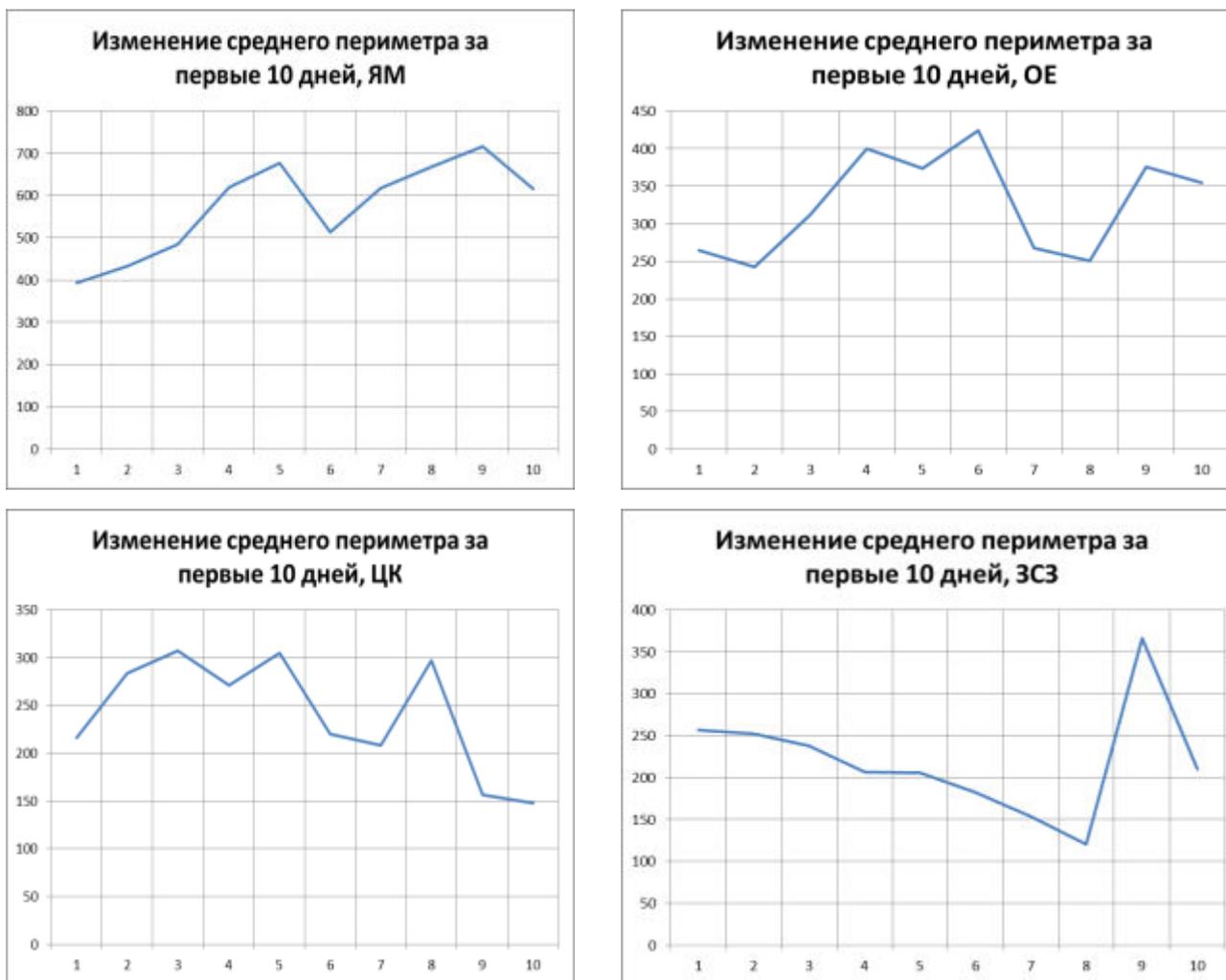
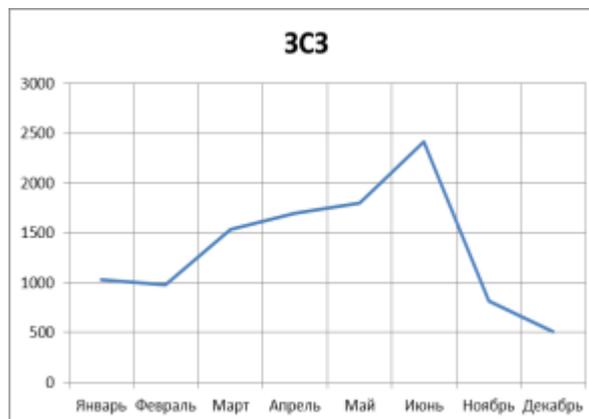
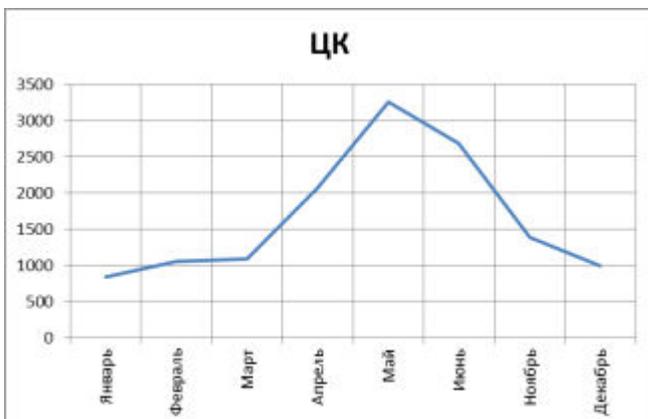
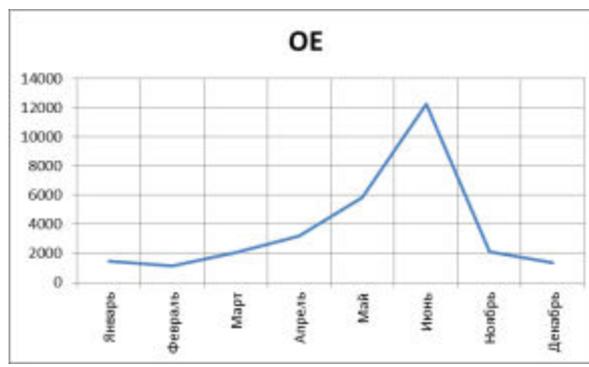
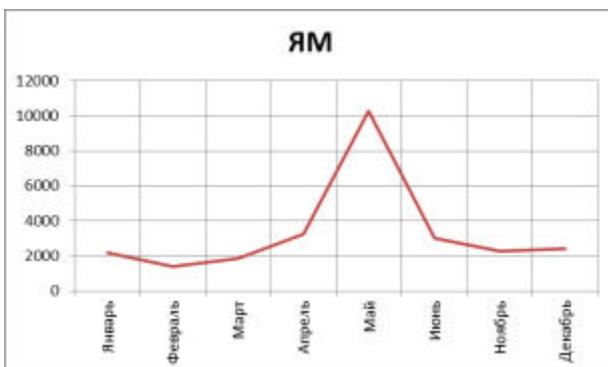
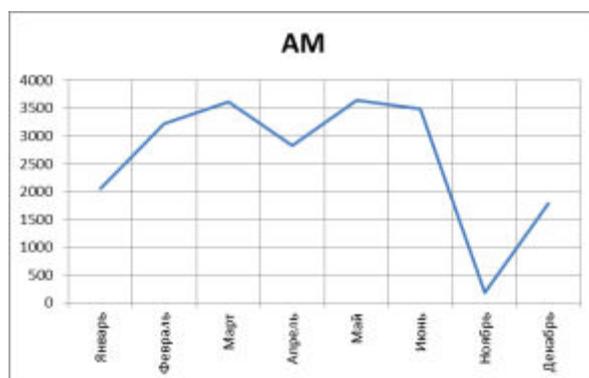
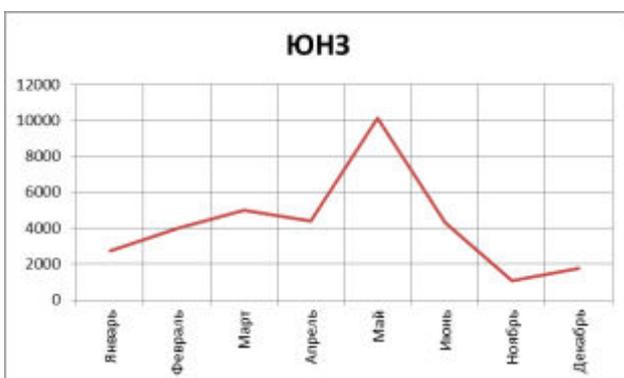
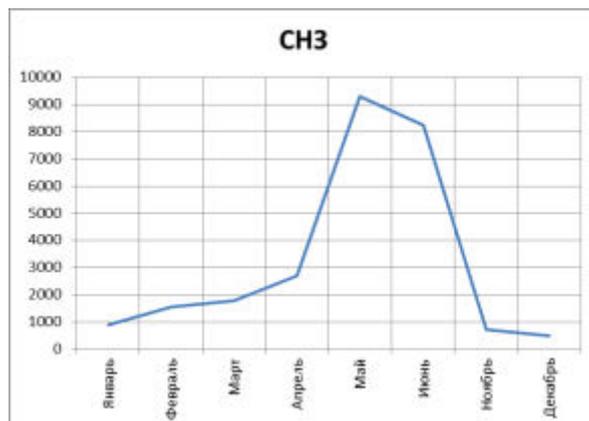
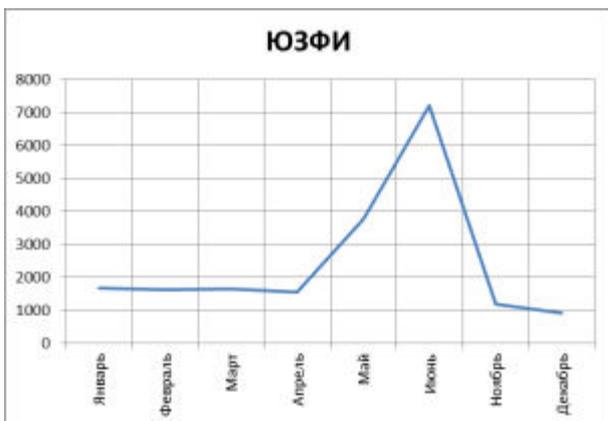


Рис.29 Изменение среднего периметра за первые 10 дней

Анализ графиков дает основания сделать вывод о том, что в то время, как некоторые полыньи развиваются достаточно равномерно – такие, как Юго-Восточная Земли Франца Иосифа, Южная Новоземельская и Ямальская, некоторые развиваются скачкообразно. Больше всего разброс площадей и периметра полыньи приходится, конечно, на Амдерминскую полынью – в первый день развития её площадь, в среднем, составляет 2,5 тыс. км², к восьмому дню большинство полыней схлопываются, а те, которые переживают это ограничение, увеличиваются в разы и на девятый день происходит сильный разброс в значениях. В среднем, площадь Амдерминской полыньи на девятый день составляет 13 с половиной тысяч км². Почти аналогичная ситуация обстоит и с периметром.

Графики площадей всех полей, а также сравнительный график представлены ниже.



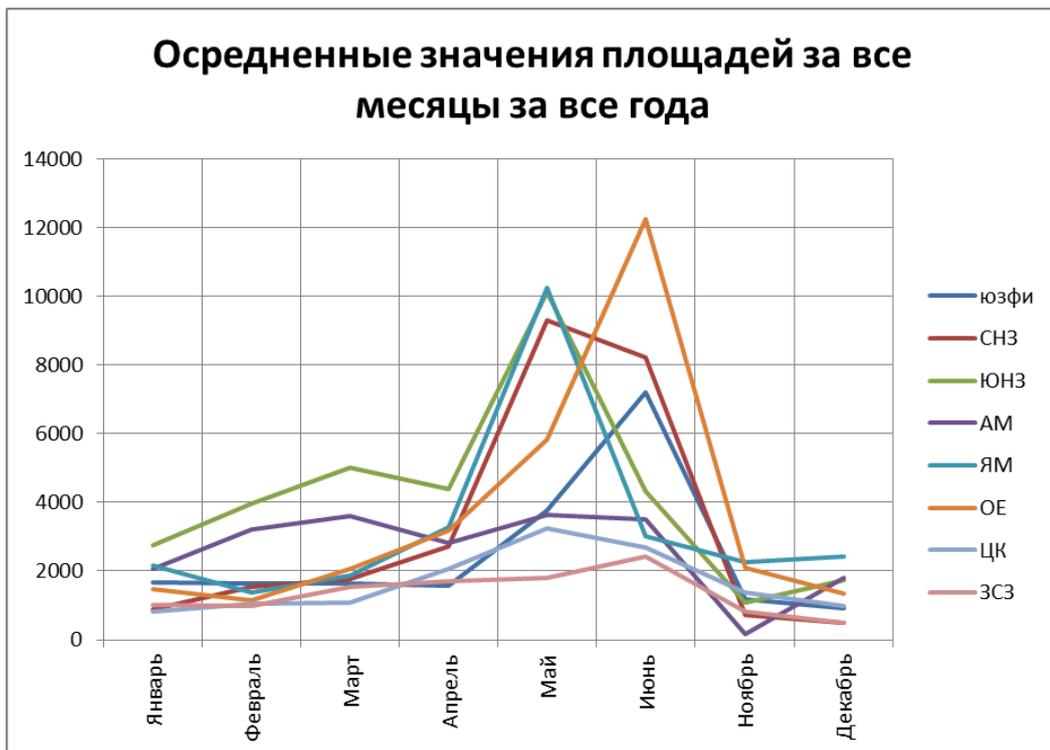


Рис.30 Площади полыней по месяцам, где ЮЗФИ – Юго-Восточная Земли Франца Иосифа; СНЗ – Северная Новоземельская; ЮНЗ – Южная Новоземельская; АМ – Амдерминская; ЯМ – Ямальская; ОЕ – Обь-Енисейская; ЦК – Центральная Карская; ЗСЗ – Западная Североземельская

Также было интересно узнать, в каком диапазоне более всего наблюдается большинство полыней. Для этого также было построены графики:



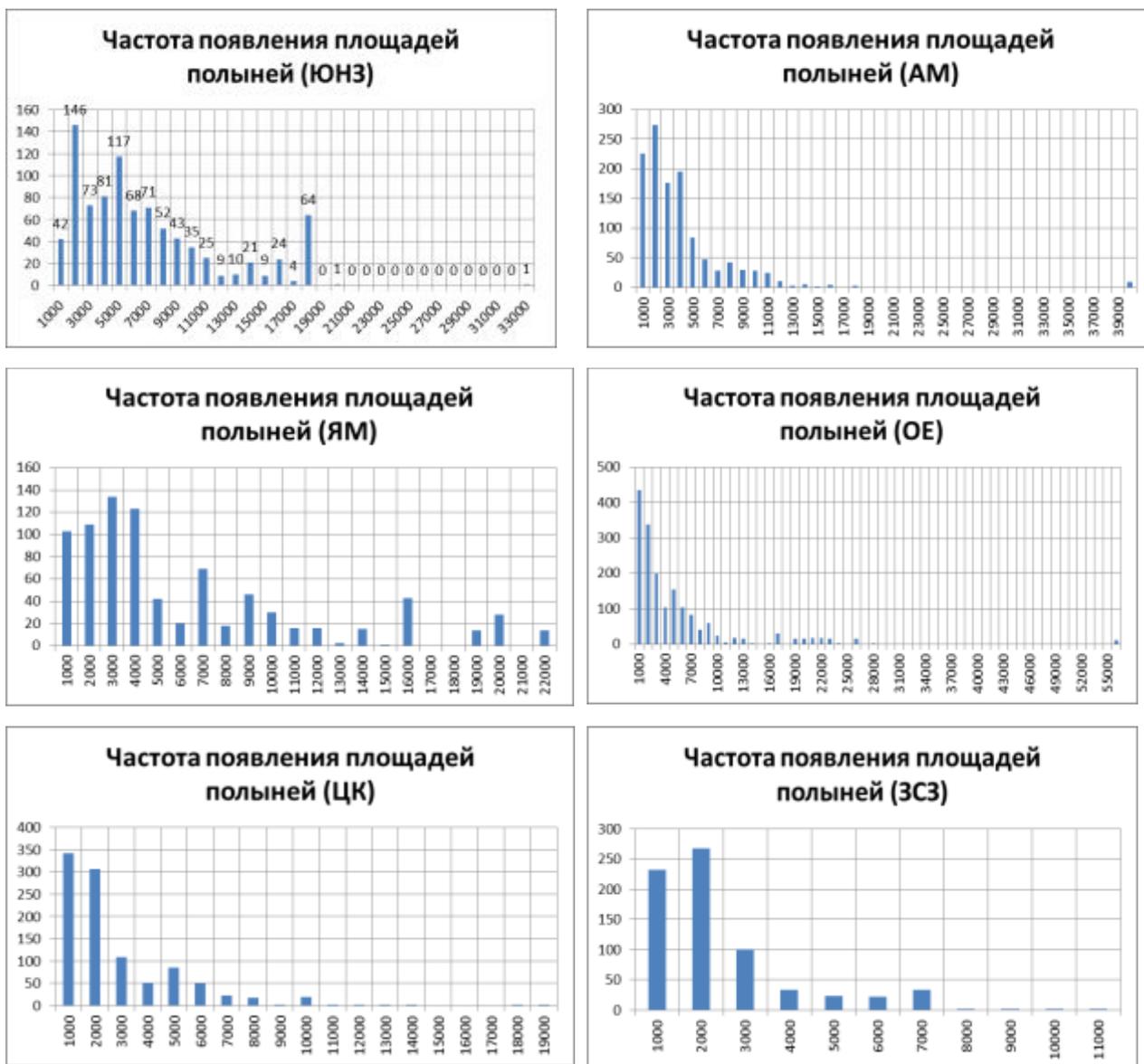


Рис.31 Частота появления площадей полынней

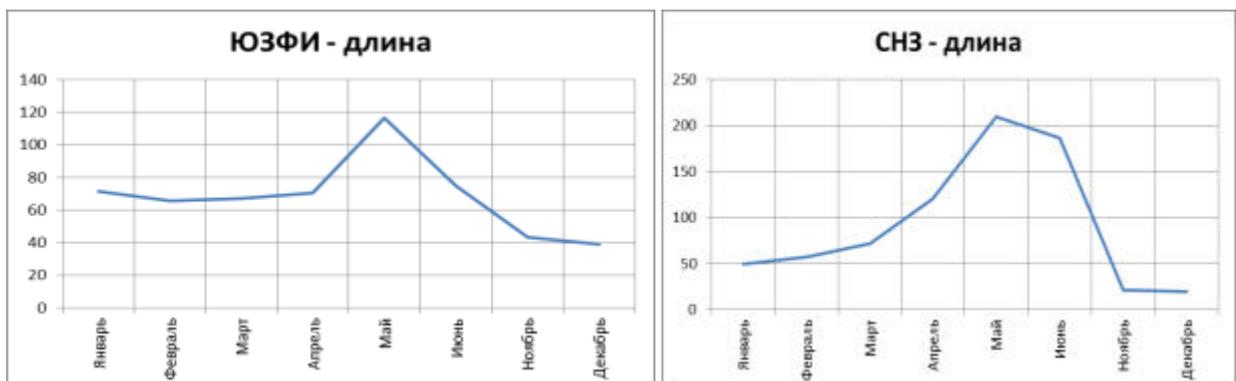
Проанализировав графики межмесячной изменчивости за рассматриваемый период за все года, можно сказать, что в целом, графики изменчивости совпадают с периодами, которые выделены исследователями, а именно то, что:

- В период за январь-апрель площади полынней практически повсеместно варьируются в районе от 2 до 4,5 тыс. км² ;
- В апреле происходит резкий упадок значений, чтобы затем, в мае-июне получить значительное, заключительное увеличение их площадей;

- В период с июня начинается летнее разрушение припая, а значит летний и осенний период вне зоны рассмотрения;
- В ноябре-декабре начинается активное ледообразование, но значения площадей все ещё ничтожно малы в сравнении с периодом с января по апрель и уж тем более малы по сравнению с периодом май-июнь.
- Площади полыней юго-восточной земли Франца Иосифа, Центральной Карской, Обь-Енисейской находятся в диапазоне от 0 до 1000 км². Для всех остальных полыней данные следующие: Северная Новоземельская полынья (136 зарегистрированных случаев площадей находились в диапазоне от 2000 до 3000 км²), Южная Новоземельская (146 случаев в диапазоне от 1000 до 3000 км²), Амдерминская (диапазон от 1000 до 3000 км²), Ямальская (от 2000 до 3000 км²) и, наконец, Западная Североземельская (от 1000 до 2000 км²).

Частные графики, которые отображают поведение каждой из полыньи, в целом, повторяют одну общую картину за исключением Амдерминской полыньи, которая имеет несколько нетипичное поведение, связанное с тем, что область её размещения находится под влиянием вод Оби и Енисея, которые, захватываемые течением Карского моря, относятся туда, и, конечно же, более холодные воды Баренцева моря также вносят свой вклад, проникая в данный район через пролив Карские ворота.

Так как для понимания полной картины происходящего на Карском море требуются не только площади, но и другие показатели, были построены усредненные графики длины полыней и их ширины.



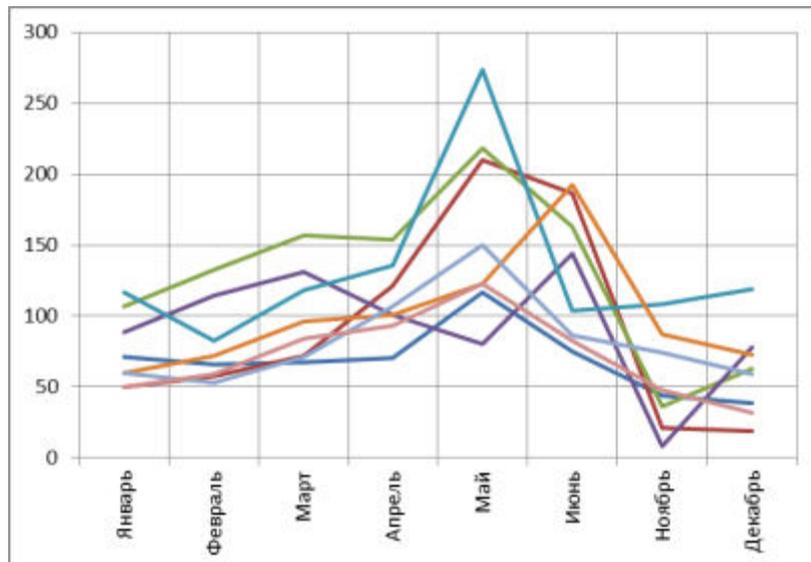
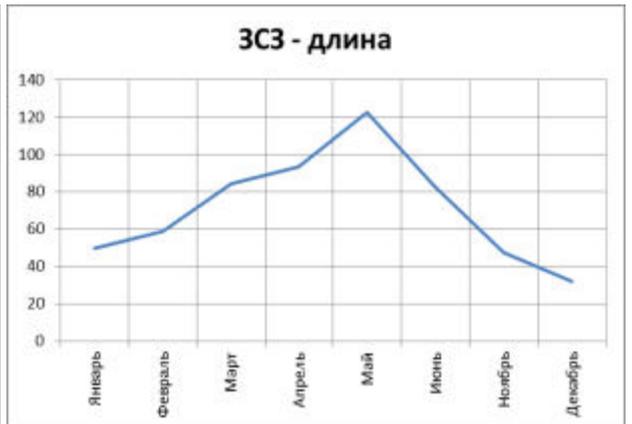
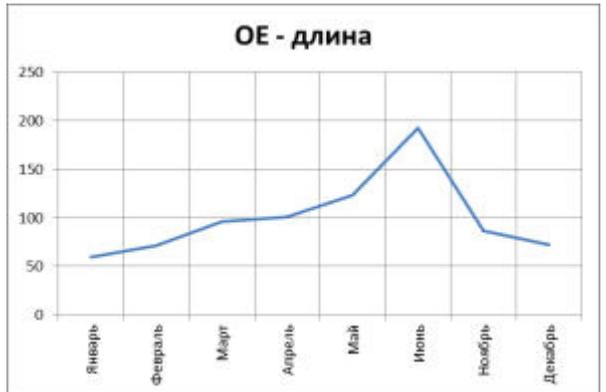
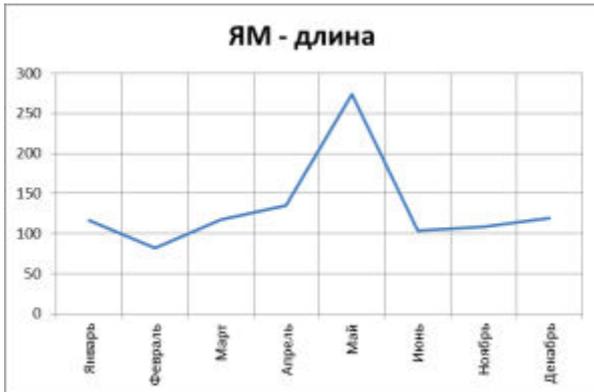
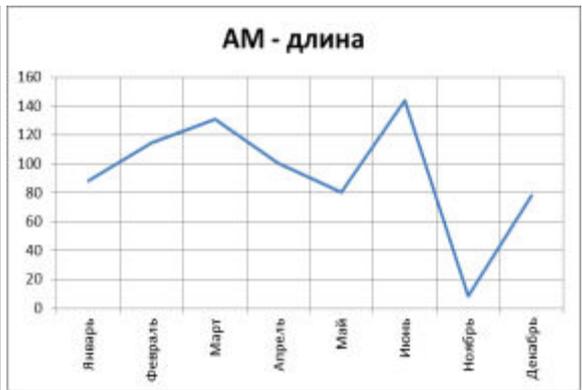
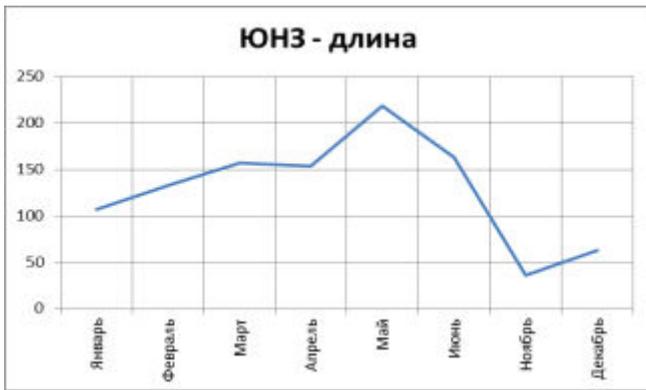
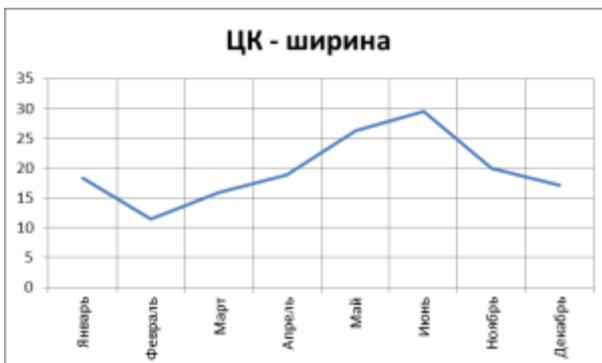
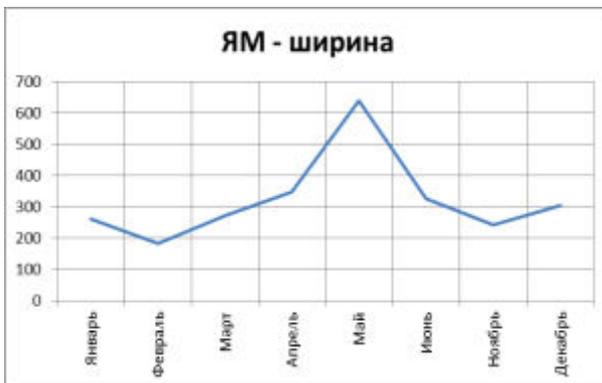
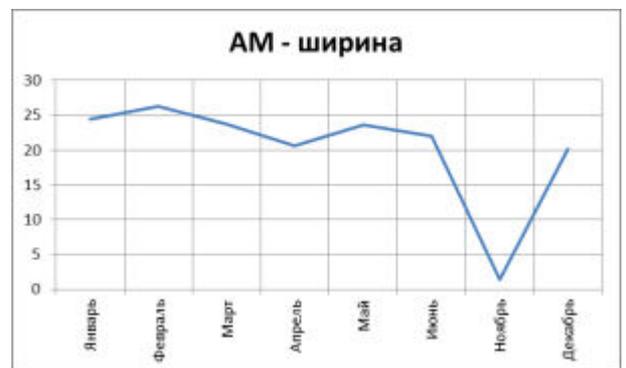
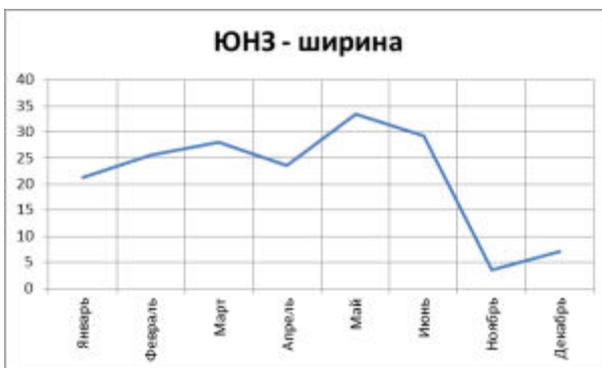
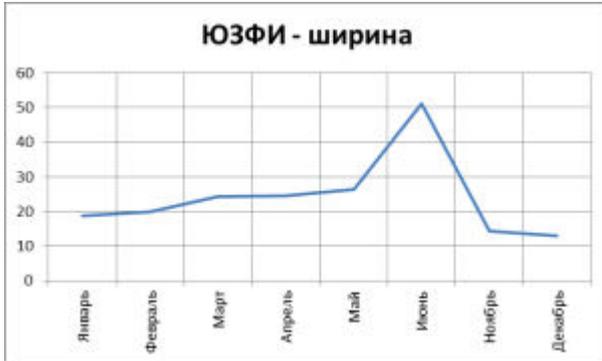


Рис.32 Средняя длина по месяцам

Ширина полней также играет важную роль при анализе общего поведения происходящего явления, так что имело смысл пронаблюдать и изменения ширины в межмесячном масштабе:



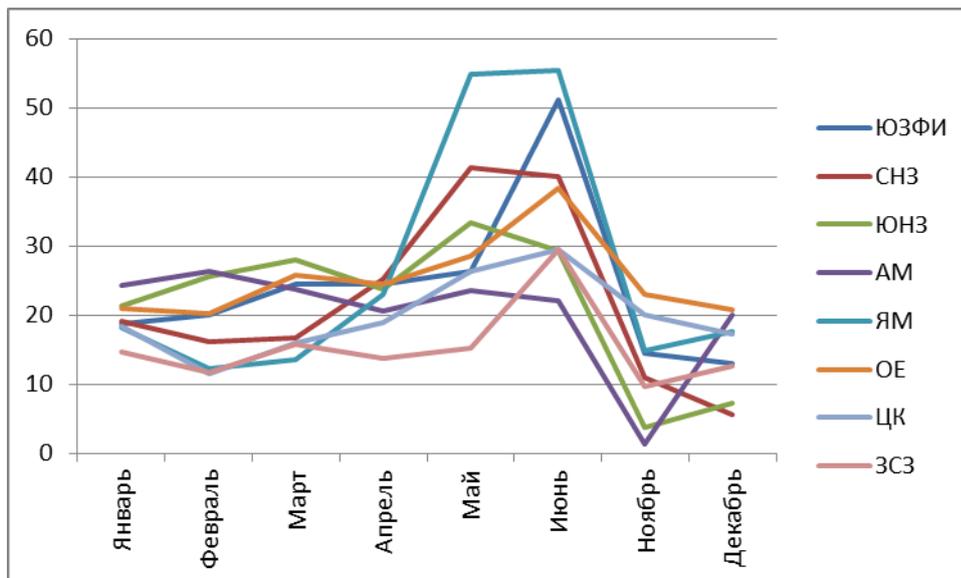
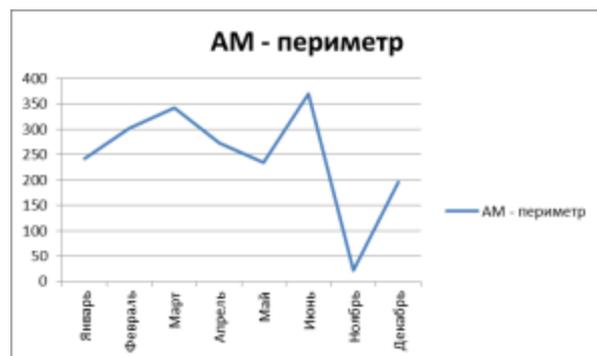


Рис.33 Средняя ширина по месяцам

Ко всему прочему, было интересно узнать изменения периметра по месяцам:



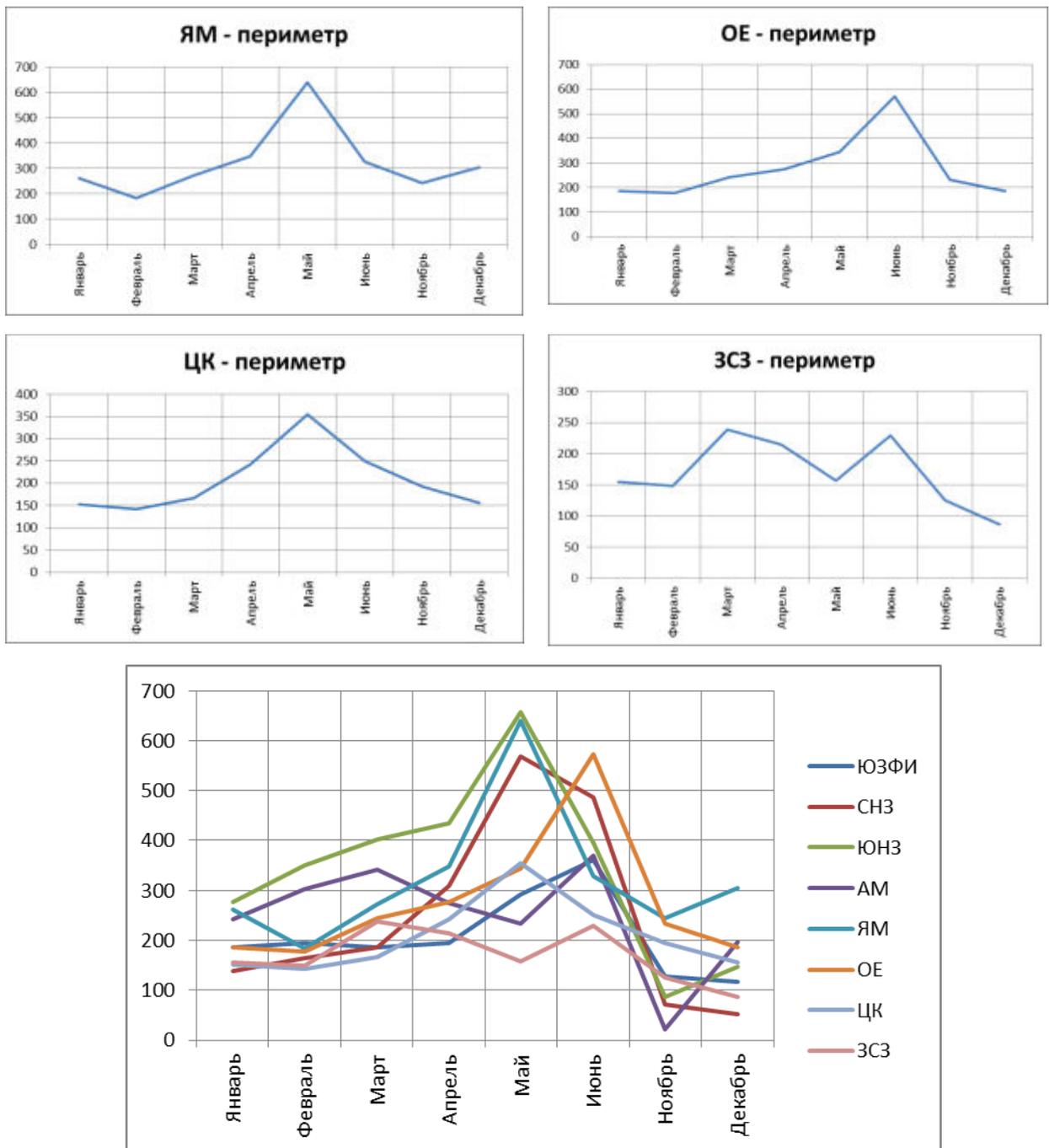


Рис.34 Средний периметр по месяцам

Как можно заметить из полученных графиков, наблюдается отличительный тренд для всех полыней по межсезонной изменчивости, а именно, что с января по апрель учетного периода можно отметить относительно небольшое количество полыней, что соответствует ледовым условиям моря, указанным в пункте 1.3. После этого, для абсолютного большинства полыней наблюдается пик, как по площади, так и по ширине и

длине полыней, приходящийся на период с начала мая и до конца летнего учетного периода (до июня). В ноябре-декабре площади и количество полыней уменьшаются до своих нормальных размеров.

Суммы площадей по годам различных полыней:

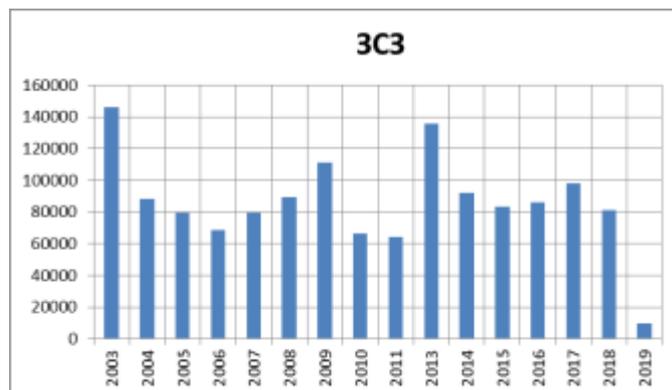
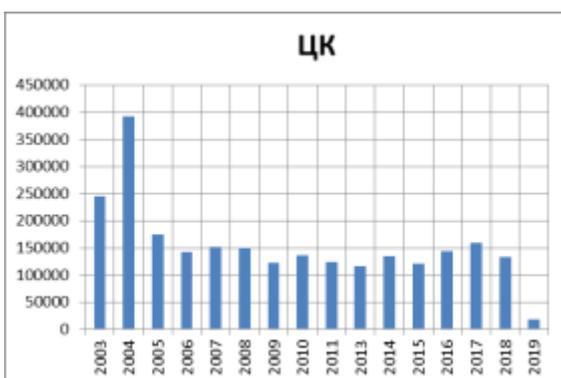
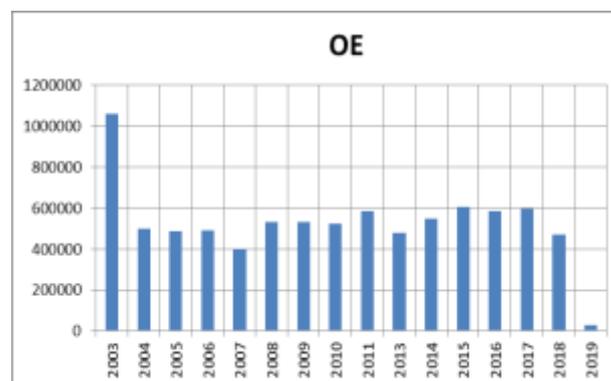
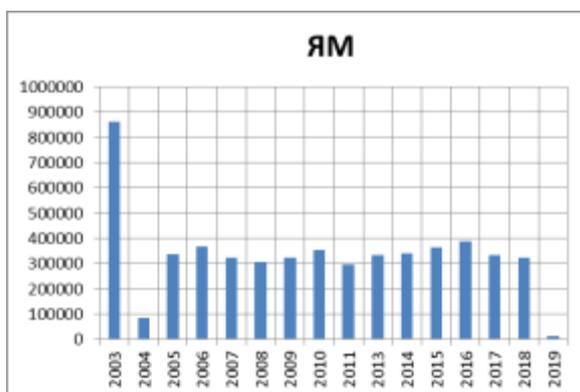
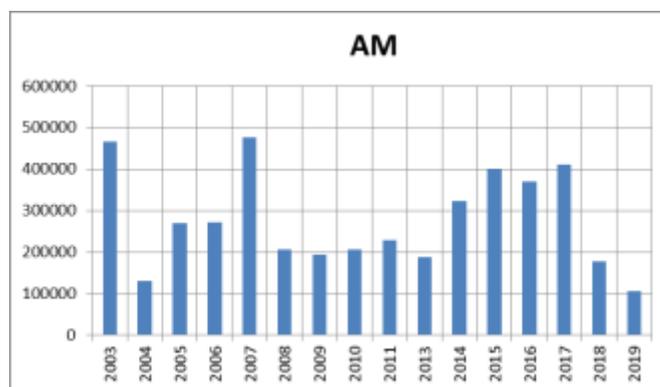
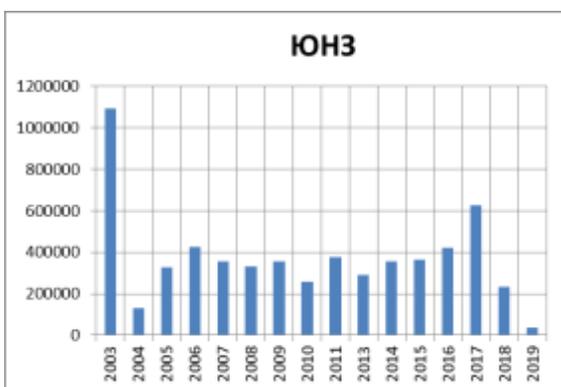
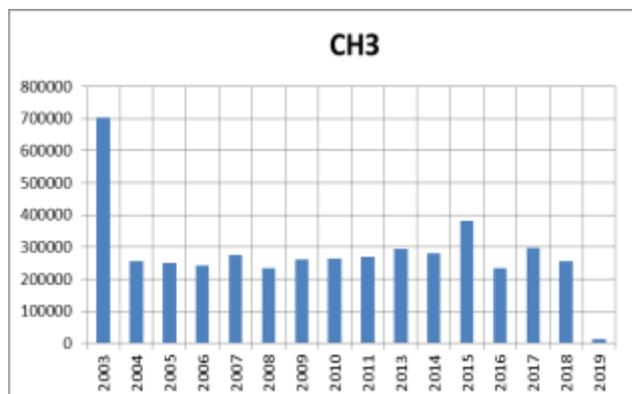
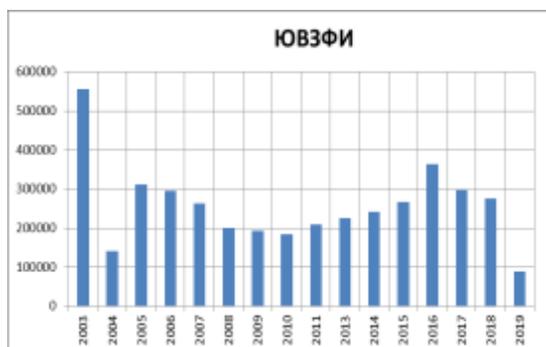
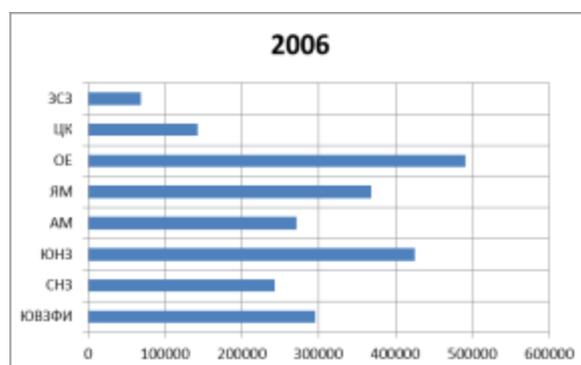
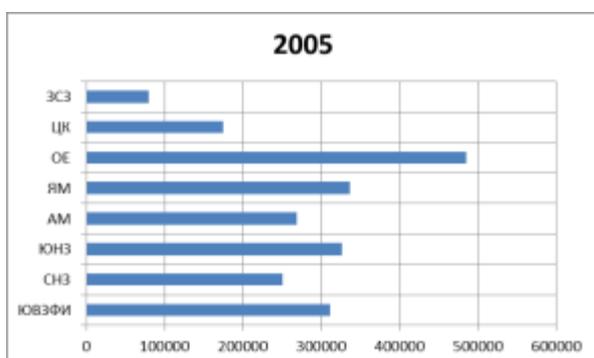
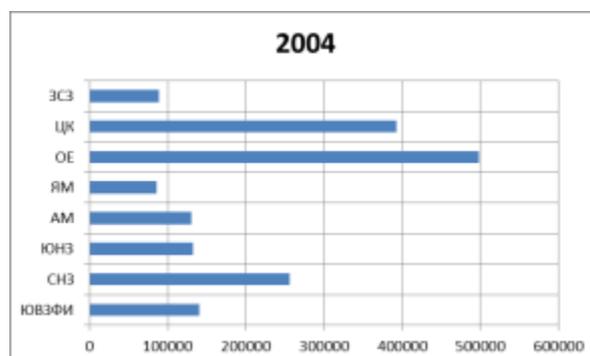
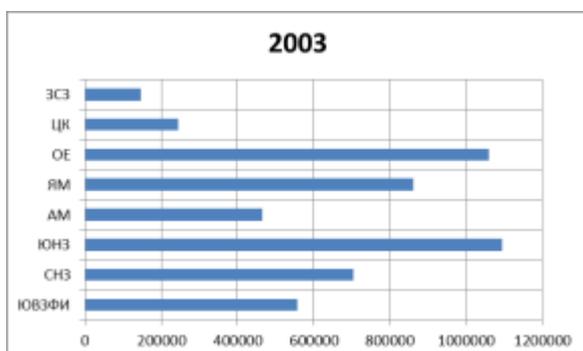


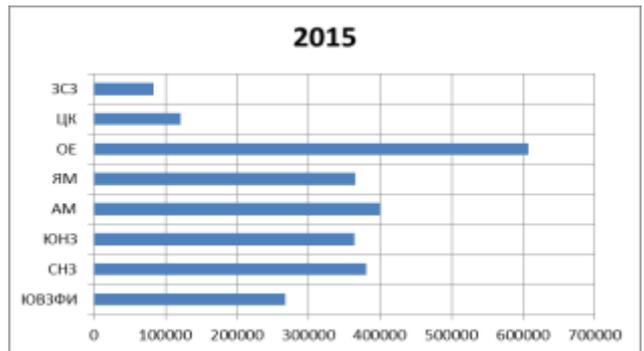
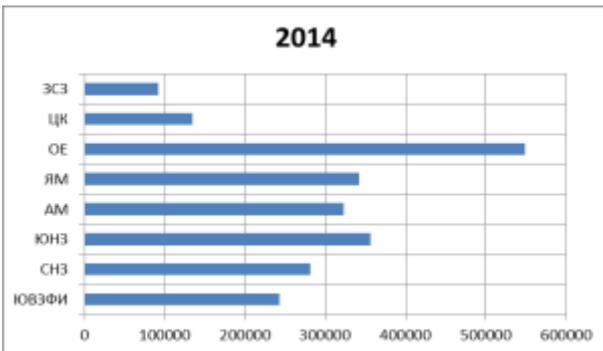
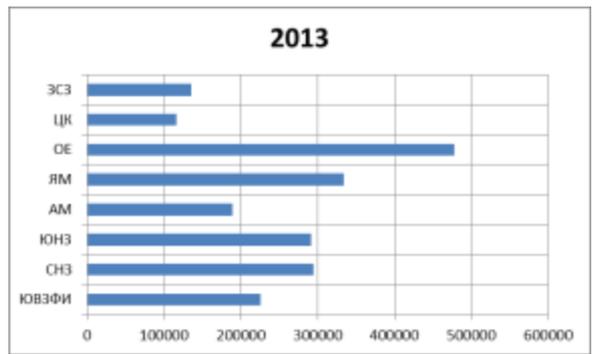
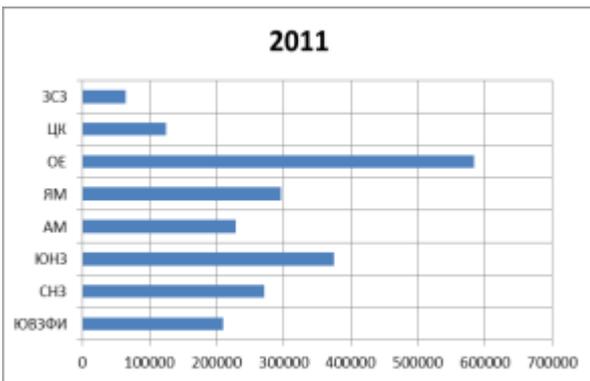
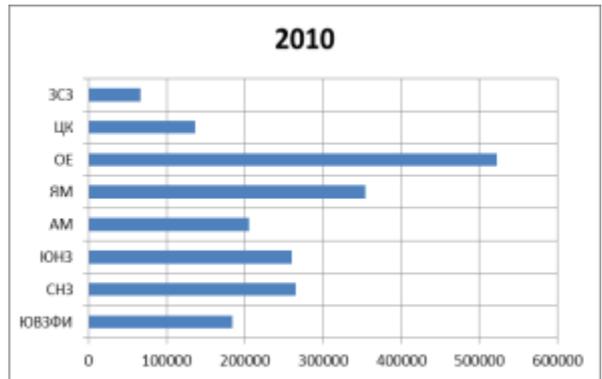
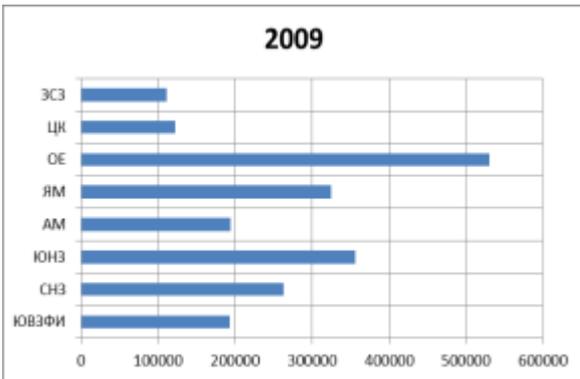
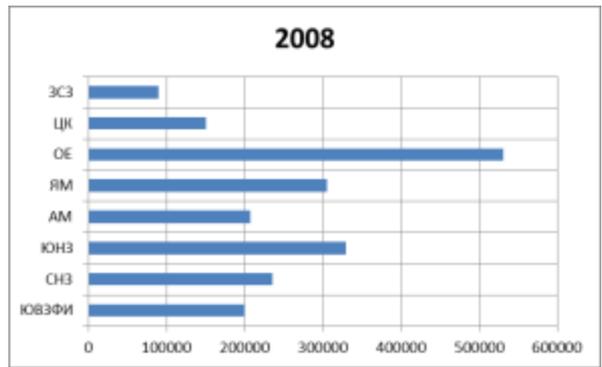
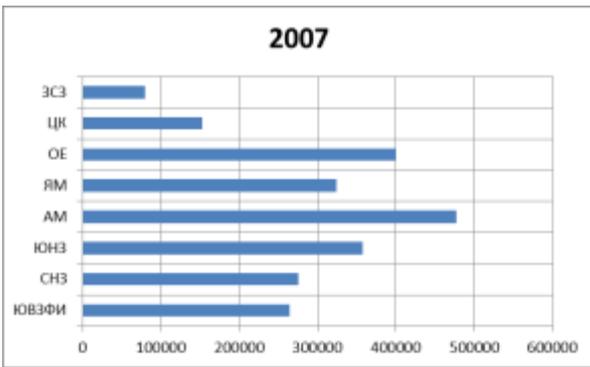


Рис.35 Суммы площадей в межгодовом масштабе

Сумма площадей за все годы дает основания посмотреть, как менялось состояние ледового покрова Карского моря за шестнадцать лет наблюдений.

Для каждого отдельного года также были построены графики изменений.





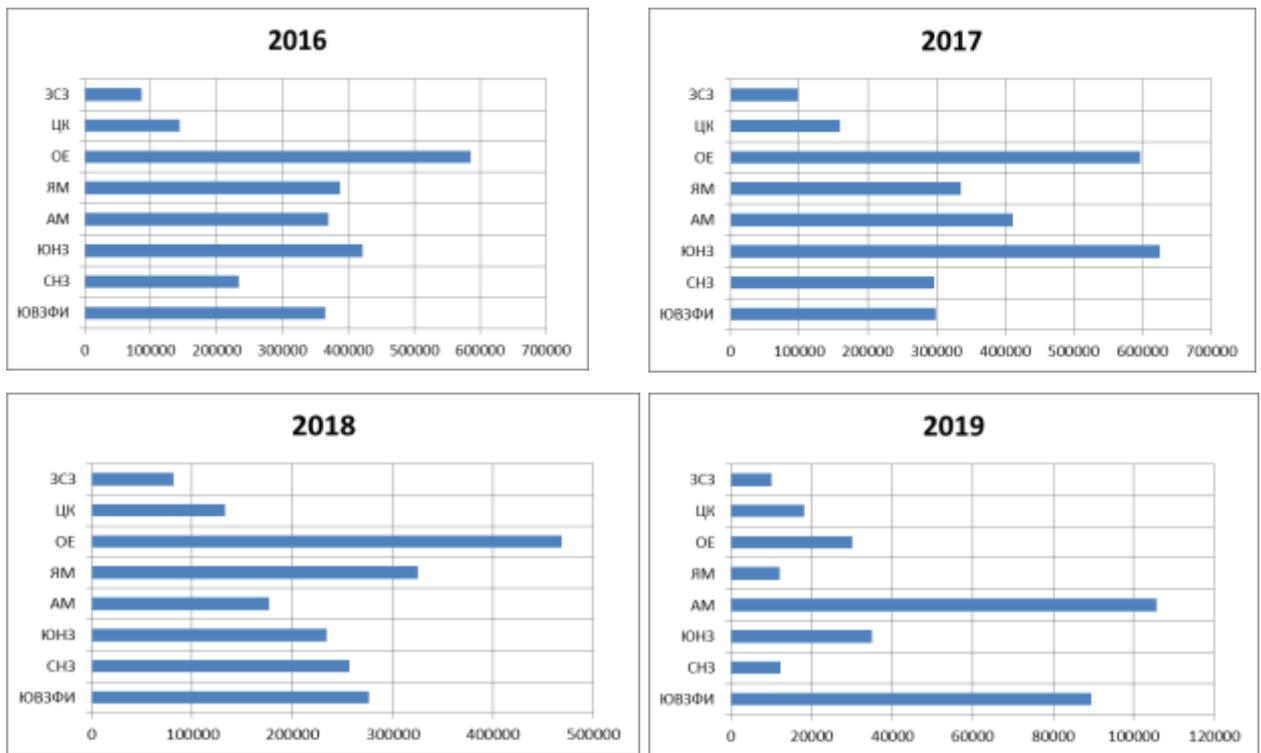


Рис.36 Суммы площадей в каждом из рассматриваемых годов

Безусловно, ярко выделяются, конечно же, стационарные полыньи – Амдерминская, Обь-Енисейская, а также Южно-Новоземельская. Их значения наиболее высоки среди всех остальных, что объясняется, конечно же, тем, что они наблюдаются в Карском море большую часть времени. Аномальными годами, как по размеру площадей, так и по количеству, являются 2003, 2016, а также 2017 годы.

3.3 Влияние ветра и температуры воздуха на формирование полыней в Карском море

Динамика границ полыньи, а также потоки тепла и импульса на поверхности полыньи определяются в большой мере приповерхностной скоростью ветра. Несмотря на свою важность, вопрос изменчивости скорости ветра над полыньями остается малоизученным. Результаты предыдущих исследований указывают как на возможное усиление скорости ветра над полыньей (об этом написано в нескольких работах, таких, как [28, 47]), так и на её уменьшение, по сравнению с вышележащими слоями атмосферы и натекающим потоком. В некоторых работах [30] указывается возможная существенная роль мезомасштабных градиентов давления, связанных с прогревом воздуха над полыньей, в изменчивости скорости ветра. Кроме того, в некоторых работах указывается возможная роль полыней в формировании мезомасштабных циркуляций.

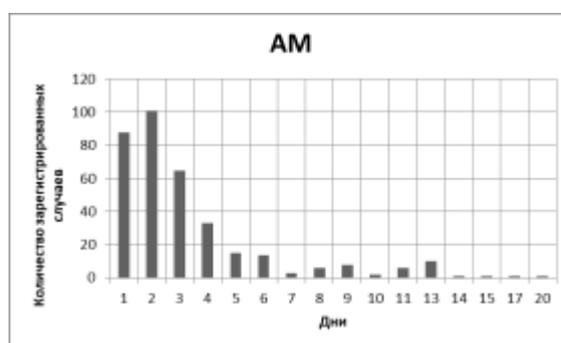
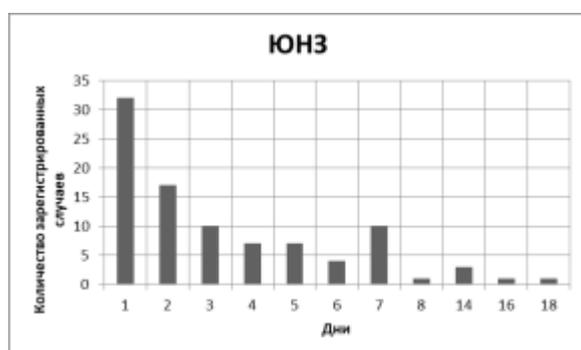
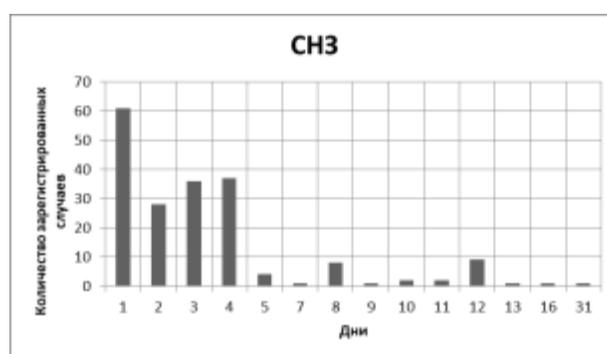
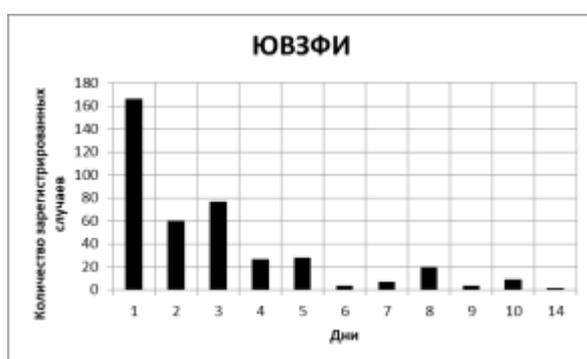
Развитие полыней в разных частях Карского моря может происходить по-разному, даже если воздушный перенос над всем морем имеет одно направление. Если при западном переносе все полыньи у западного побережья будут закрываться, то у восточного, наоборот, будут расширяться и увеличиваться по площади.

Из таблиц данных [Приложение А] видно, что начиная с мая все полыньи значительно расширяются, возрастает их площадь. Понятно, что в это время в этой части Мирового океана происходят какие-то изменения, которые и влияют на это. Было сделано предположение, что эти изменения – ветровые и температурные условия в той области. Как известно, в марте средняя температура воздуха в среднем достигает $-28,6^{\circ}\text{C}$ на мысе Челюскина и -20°C на мысе Желания. Максимально низкая температура воздуха была зарегистрирована в районе Карского моря, которая составила $-45...-50^{\circ}\text{C}$. Однако к маю ситуация кардинально меняется и средняя

температура поднимается с $-7\text{ }^{\circ}\text{C}\dots-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}\dots3\text{ }^{\circ}\text{C}$, что, разумеется, оказывает влияние на происходящие процессы на море.

Анализ изменения площадей полыней свидетельствует о том, что при ветре может происходить их так называемое «схлопывание» или резкое сокращение площади. Такие случаи зарегистрированы при условиях того, что ветер в тех местах слабый, а температура воздуха на период 5-10 суток опускается ниже $-23\text{ }^{\circ}\text{C}\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Толщина образовавшегося льда за это время успевает достигнуть 30-35 см, и его, по спутниковым снимкам, относят к тонкому однолетнему льду. Такие случаи часто отмечаются в полынях Обь-Енисейской, Центральной Карской, Западной Североземельской и иногда, при очень низких температурах, Юго-Восточной Земли Франца Иосифа.

Для того, чтобы понять, какие случаи быстрого расширения площади полыньи и быстрого её уменьшения можно считать аномальными, следовало проанализировать, сколько в среднем может существовать полынья. Для этого были построены графики, иллюстрирующие сколько дней существует полынья и количество зарегистрированных случаев их жизни.



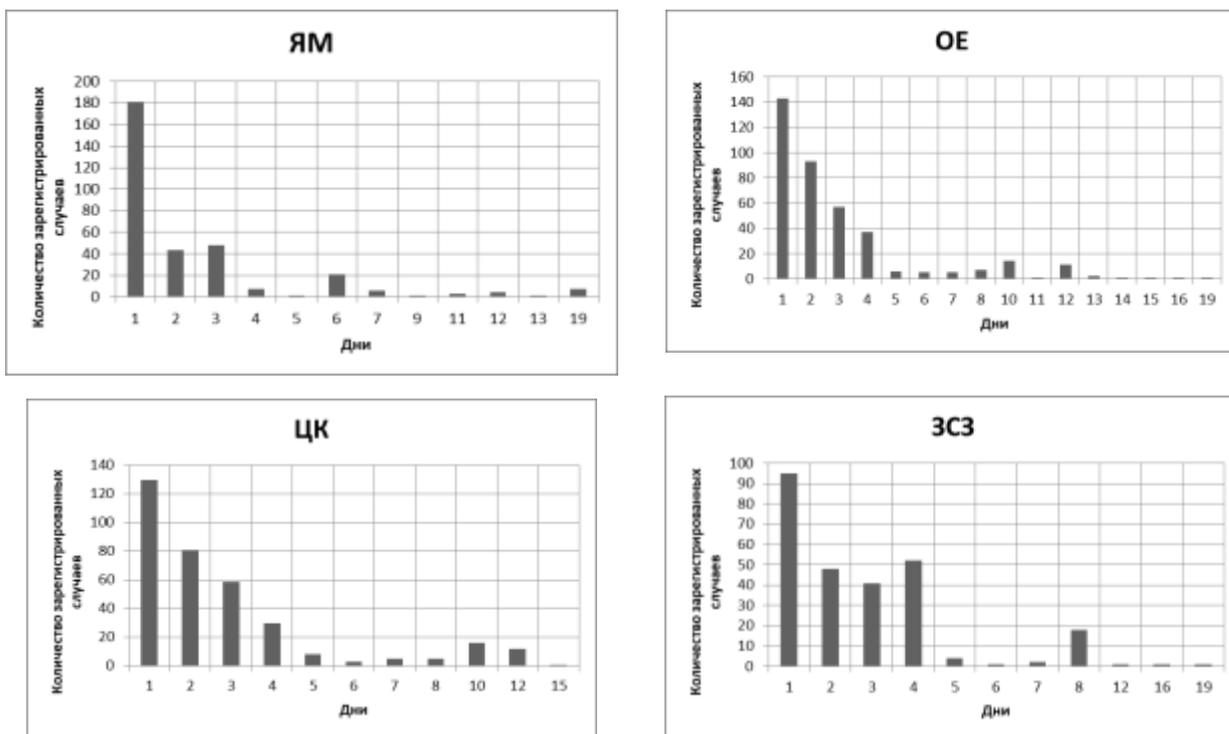


Рис.37 Существование полыней по дням

Как и ожидалось, большинство полыней существуют в море совсем короткое время, 1 день. Исключением является лишь Амдерминская полынья, минимальный срок жизни которой составляет 2 дня.

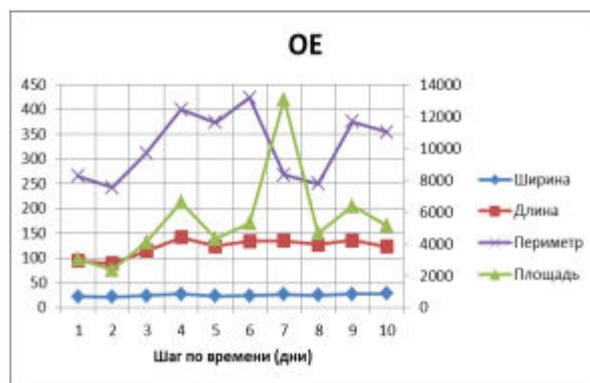
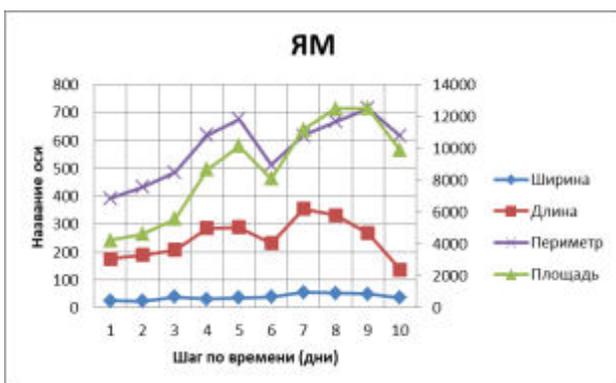
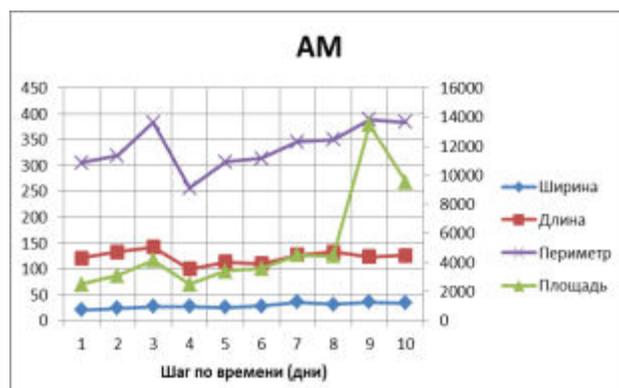
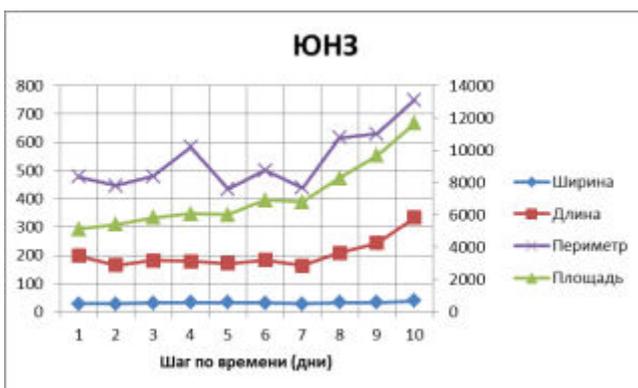
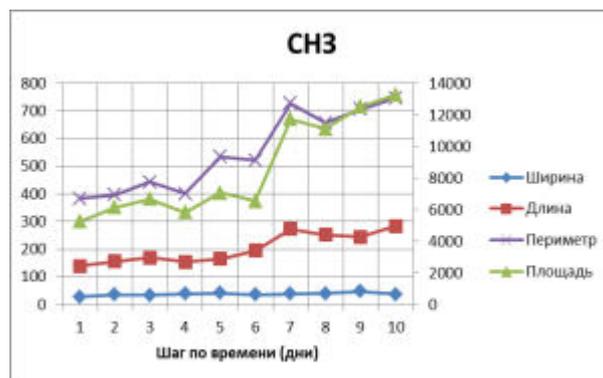
После первого «рубежа», для полыней наступает второй период их существования, который варьируется от 2 до 4 дней включительно.

Если полынья переживает и это ограничение, то далее данные разнятся.

Табл.1

Полынья	Максимальное количество дней
ЮВЗФИ	14
СНЗ	31
ЮНЗ	18
АМ	20
ЯМ	19
ОЕ	19
ЦК	15
ЗСЗ	19

После того, как было вычислено среднее время жизни, было интересно узнать, какие же морфометрические характеристики характерны для полыней в первые дни их жизни. Для этого было вычислено среднее значение ширины, длины, площади и периметра полыней за все время в первые дни их существования.



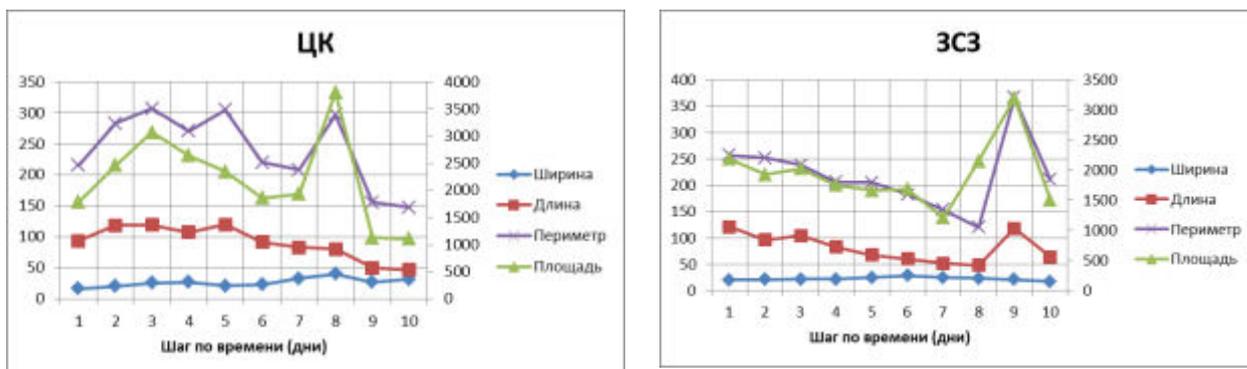


Рис.38 Изменение морфометрических характеристик полей за первые 10 дней существования

Как видно из представленных графиков, за первые 10 дней существования характеристики полей сильно разнятся в зависимости от района. Большинство изучаемых полей имеют совпадающие пики максимумов и минимумов, но в некоторых случаях (9-й день у Амдерминской тундры, 7-й день у Обь-Енисейской) пики не совпадают. Это связано, в первую очередь, с тем, что каждая тундра имеет свой срок жизни, который обсуждался чуть выше. Так как осреднение производилось по всем тундрам за все время наблюдений, некоторые тундры отсеивались в процессе осреднения, оставляя для анализа более крупные.

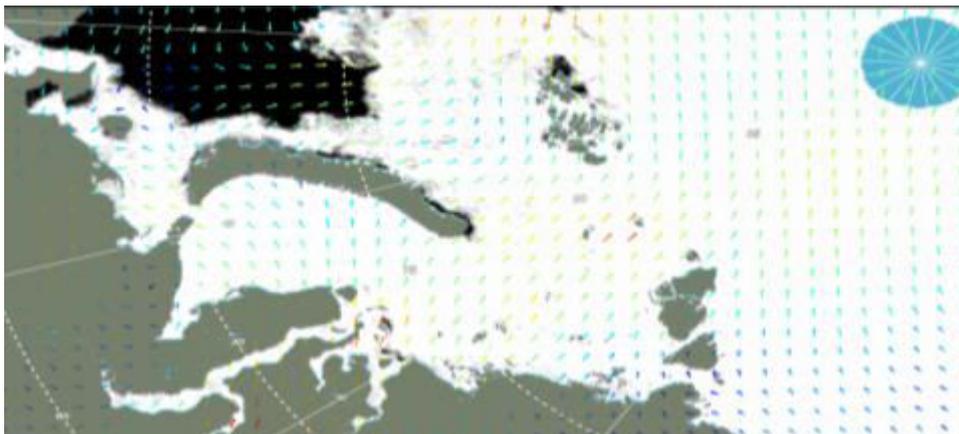
Тундры, которые отличались от среднестатистических по значениям, в данной работе было принято решение называть «аномальными». Таким образом, аномальные тундры – это такие тундры, размеры которых в разы отличаются от среднестатистических.

За все время наблюдений было выделено 16 случаев аномальных полей, связанных с изменением температурного режима или ветрового. Для доказательства данной гипотезы были собраны данные атмосферного реанализа ERA-Interim [58]. Система ассимиляции данных, используемая для создания ERA-Interim, основана на выпуске IFS 2006 года (Cy31r2). Система включает 4-мерный вариационный анализ (4D-Var) с 12-часовым окном анализа. Пространственное разрешение набора данных составляет приблизительно 80 км (спектральный T255) на 60 вертикальных уровнях от поверхности до 0,1 гПа. Обычно продукты Era-Interim обновляются раз в

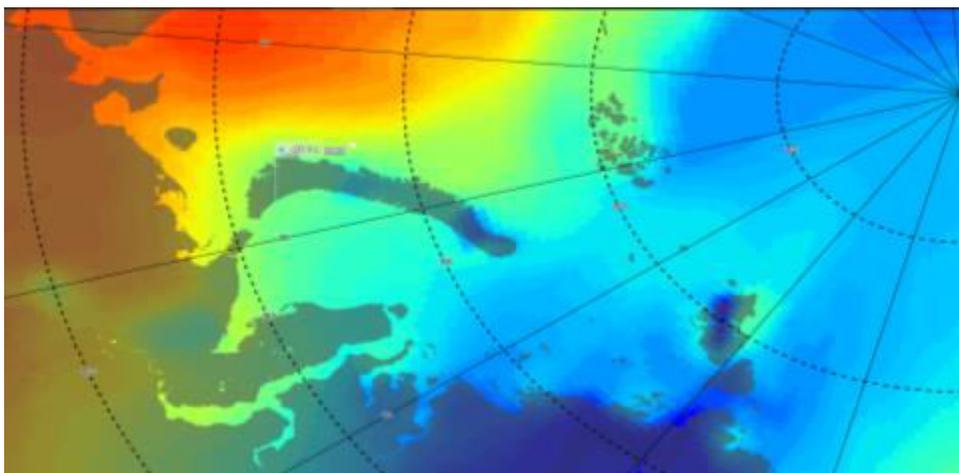
месяц, иногда с запаздыванием в несколько месяцев, если случаются какие-то технические проблемы или данные были получены с неточностями. Во все остальное время, это достаточно точная и четкая база данных, на основе которой можно производить дальнейший анализ данных или их сравнение, как было проделано в этой работе.

Из 16 случаев было выделено три наиболее показательных иллюстрирующих проявление влияния температуры и ветра на полыньи.

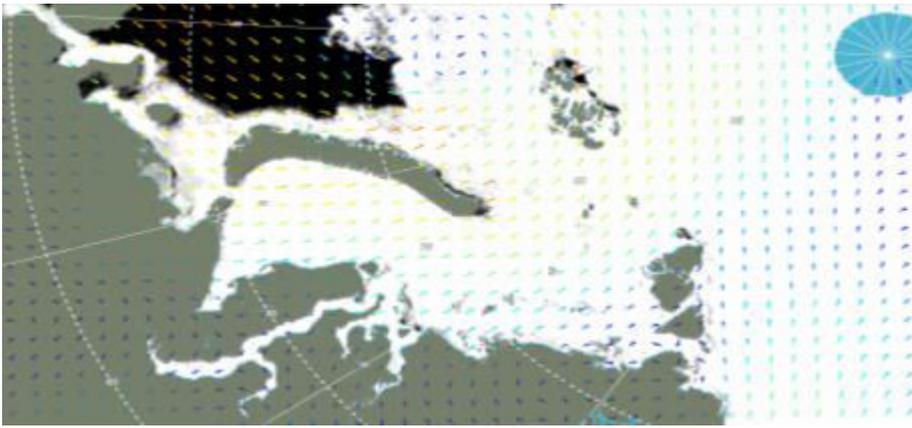
Первый зарегистрированный случай аномального поведения полыньи пришелся на 11 марта 2003 года на район Южной Новоземельской полыньи. Для того, чтобы понять чем же вызвано такое нехарактерное изменение, была рассмотрена ситуация на Карском море за несколько дней до зарегистрированного случая.



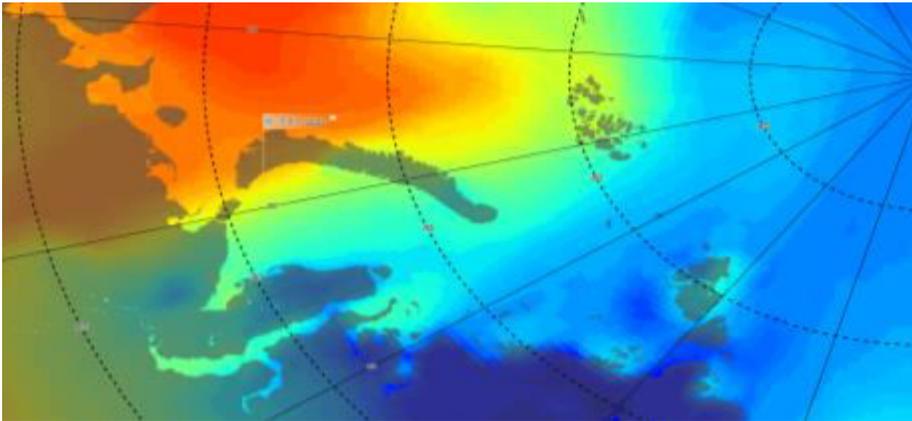
09.03.2003



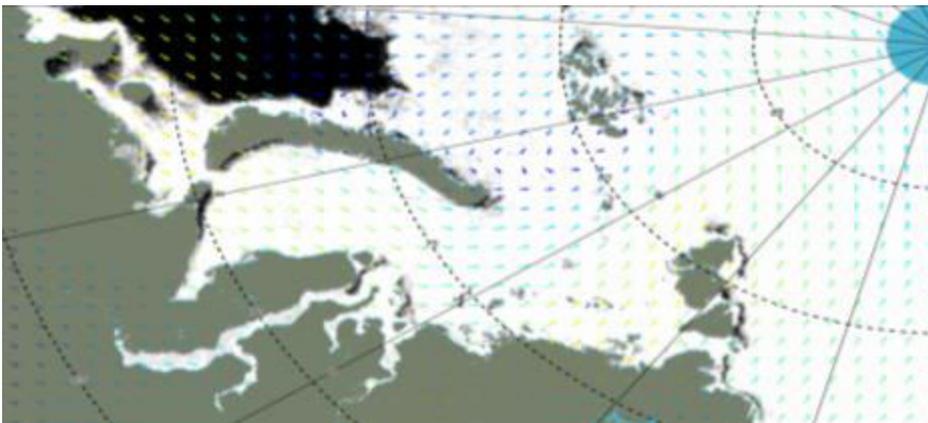
09.03.2003



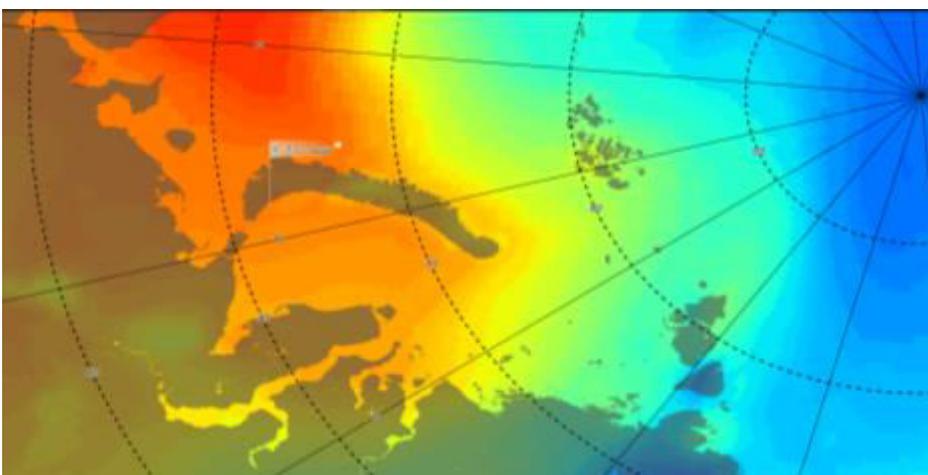
10.03.2003



10.03.2003



11.03.2003



11.03.2003

Рис.39 Развитие пыльной с 09.03.2003 по 11.03.2003

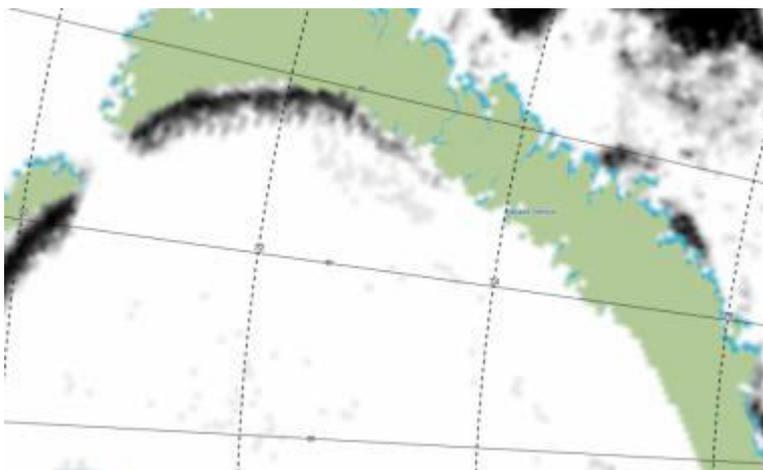
мар.03				
Ширина	Длина	Площадь	Периметр	Дата
41	226	8284	594	11
45	308	11691	697	12
44	324	14864	730	13
72	323	17598	794	14
85	265	17788	623	15
65	294	14528	653	16



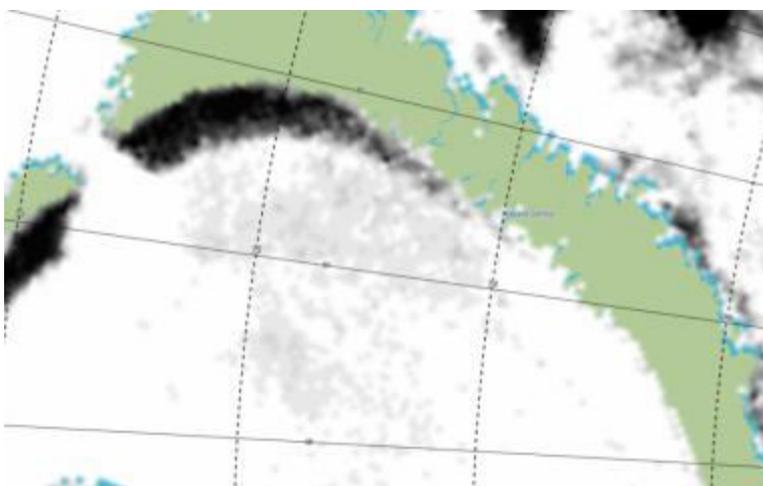
Рис.40 Изменение площади аномальной полыньи с 11.03.2003 по 16.03.2003

Как видно из графика на рисунке 40, полынья действительно аномальна. Её отличие от среднестатистического в первый день развития составляет практически 3 тысячи км². Так как были получены данные ERA-Interim за дни, предшествующие такому событию, был выполнен анализ происходящего на поверхности моря. Как можно заметить из предоставленных рисунков, в районе аномальной полыньи 09 марта 2003 года была зарегистрирована температура в -20,9 °С. Затем температура начала резко повышаться и со стороны Баренцева моря пришел теплый воздух: 10 марта температура в наблюдаемом районе составила уже -5,9 °С. На момент расширения полыньи 11 марта температура уже повысилась до -3,2 °С. Такое резкое увеличение температуры всего за несколько дней и

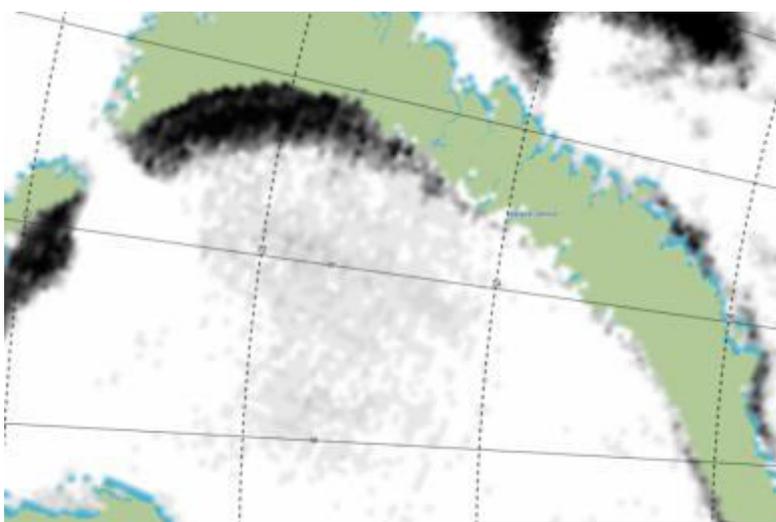
вызвало аномальное поведение полыньи. После этого полынья просуществовала ещё шесть дней, после чего закрылась.



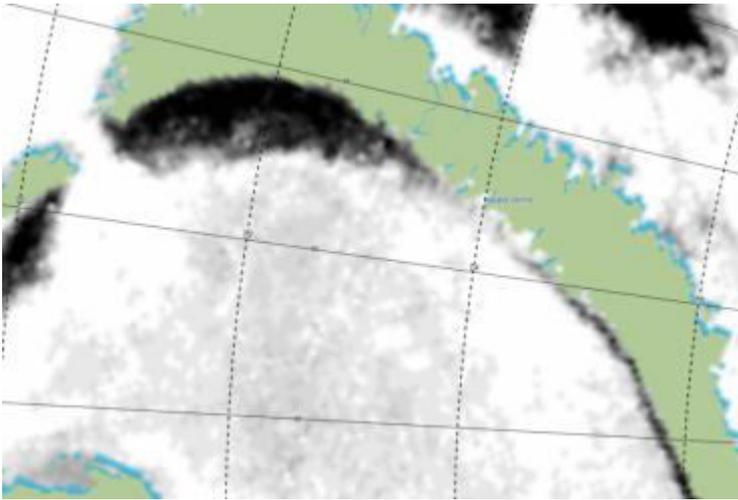
11 марта 2003
Длина – 308 км
Ширина – 45 км
Площадь – 11691 км²
Периметр - 697 км



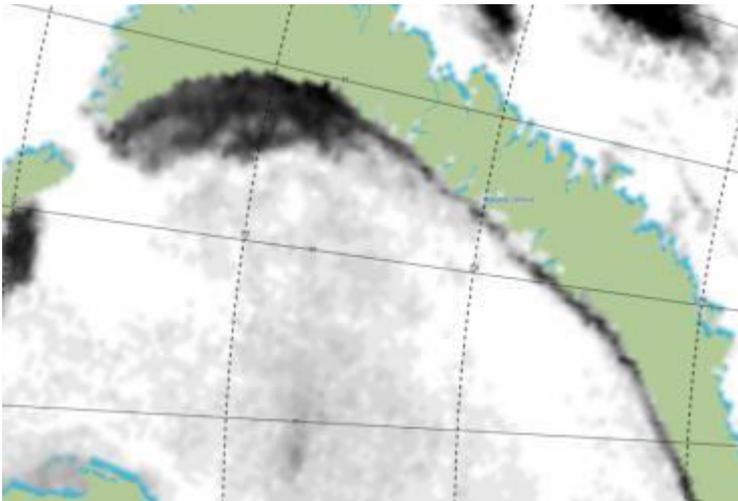
12 марта 2003
Длина – 324 км
Ширина – 44 км
Площадь – 14864 км²
Периметр - 730 км



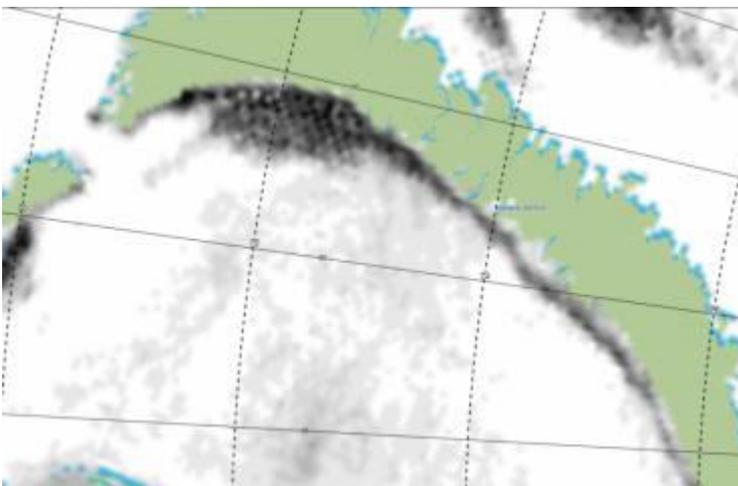
13 марта 2003
Длина – 323 км
Ширина – 72 км
Площадь – 17598 км²
Периметр - 794 км



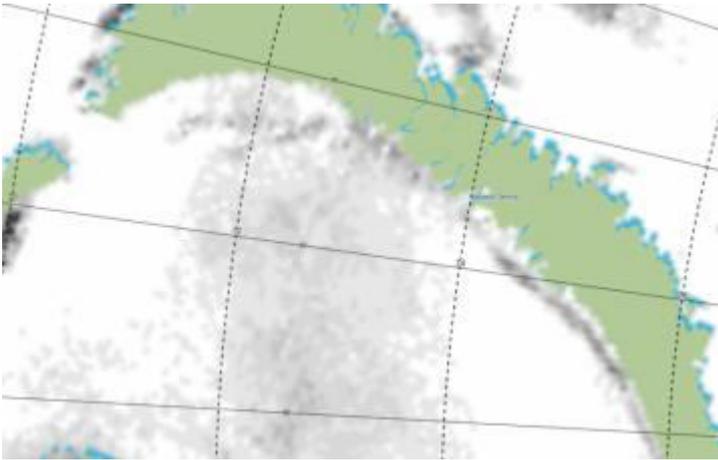
14 марта 2003
Длина – 265 км
Ширина – 85 км
Площадь – 17788
км²
Периметр - 623 км



15 марта 2003
Длина – 254 км
Ширина – 80 км
Площадь – 17765
км²
Периметр - 610 км



16 марта 2003
Длина – 294 км
Ширина – 65 км
Площадь – 14528
км²
Периметр - 653 км

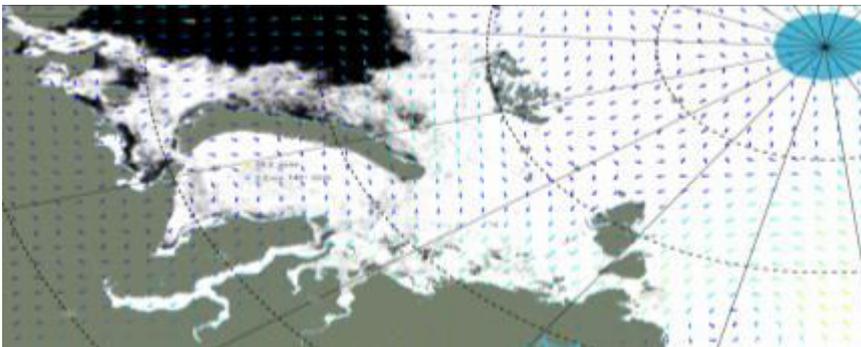


17 марта 2003
 Длина – 0 км
 Ширина – 0 км
 Площадь – 0 км²
 Периметр - 0 км

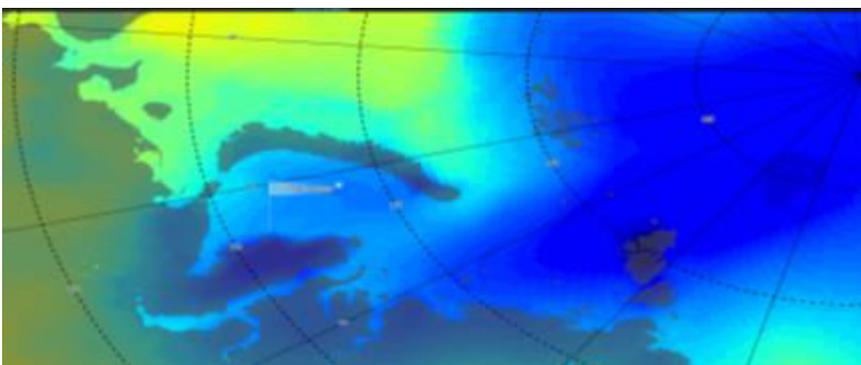
Рис.41 Изменение аномальной полыньи

Закрытие полыньи, зарегистрированное 16 марта 2003 года, также являлось аномальным – за один день размер полыньи уменьшился практически на 100%, оставив лишь небольшую трещину вдоль Новой Земли. Это, в свою очередь, было вызвано обратным процессом – поток тепла, пришедший на территорию в начале марта, двинулся в северо-восточном направлении.

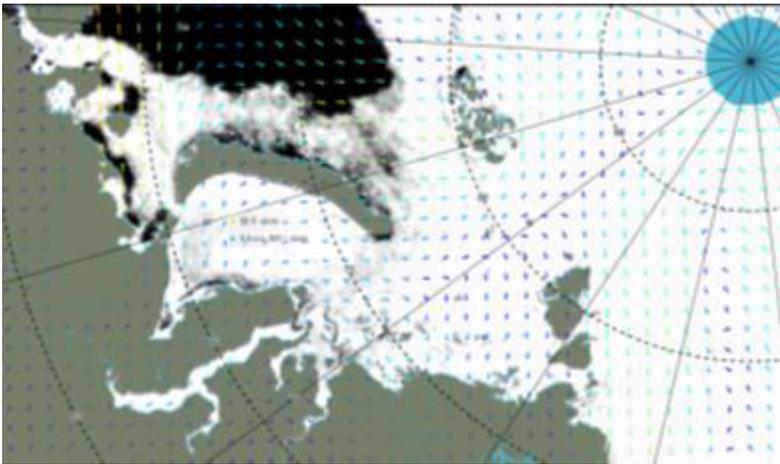
Следующий показательный случай был зарегистрирован 24 апреля 2010 года.



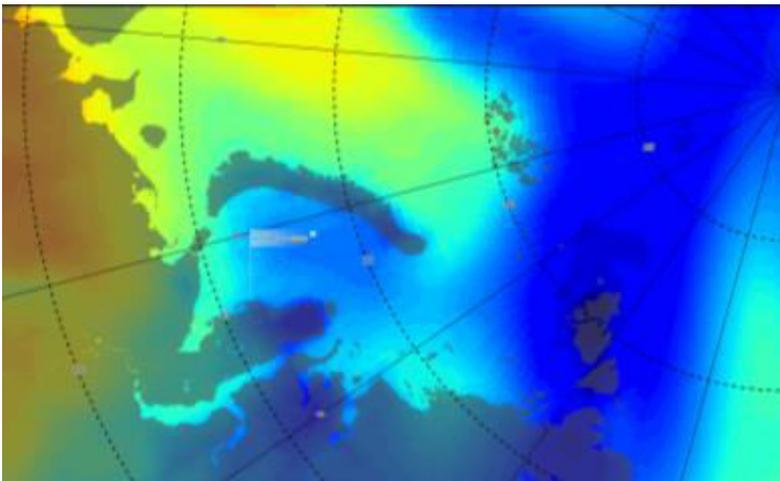
22.04.10



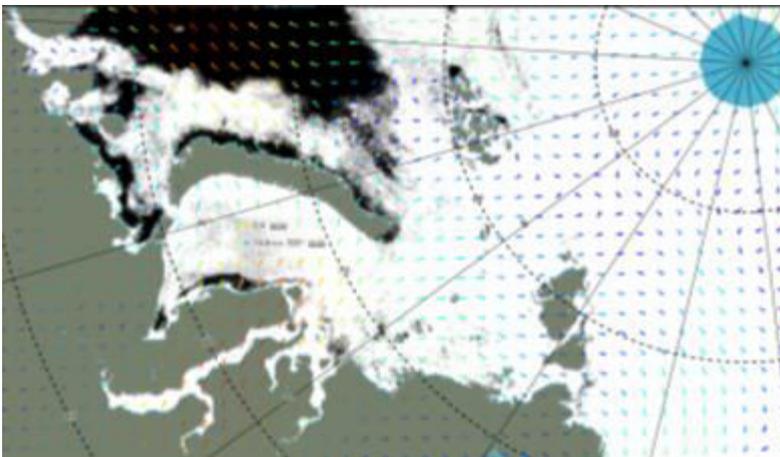
22.04.10



23.04.10



23.04.10



24.04.10

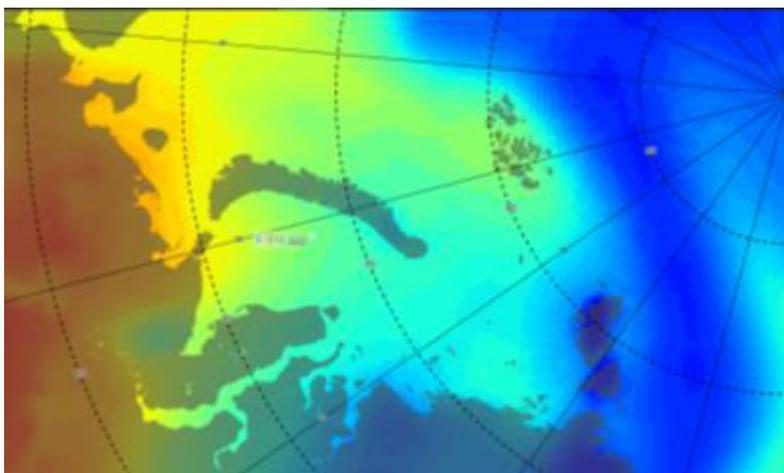


Рис.42 Изменение аномальной полыньи с 22.04.2010 по 24.04.2010

Табл.3

апр.10				
Ширина	Длина	Периметр	Площадь	Дата
37	136	6924	498	24
45	146	6930	499	25
37	148	6950	481	26
19	177	3417	279	27
30	62	1155	218	28
25	57	1087	186	29
24	55	1060	175	30

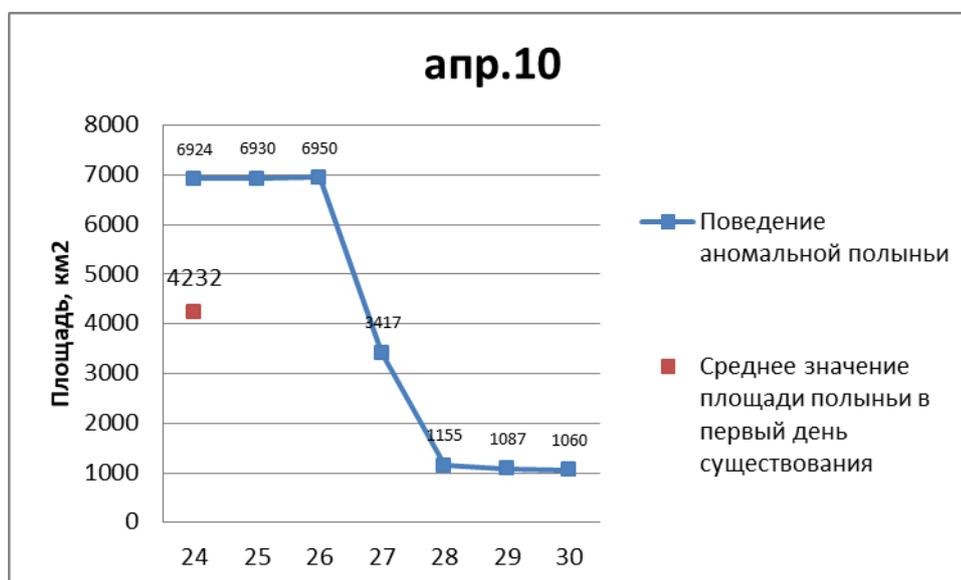
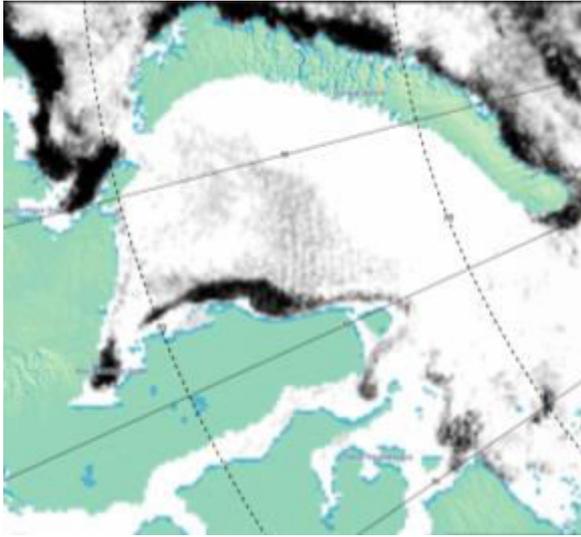
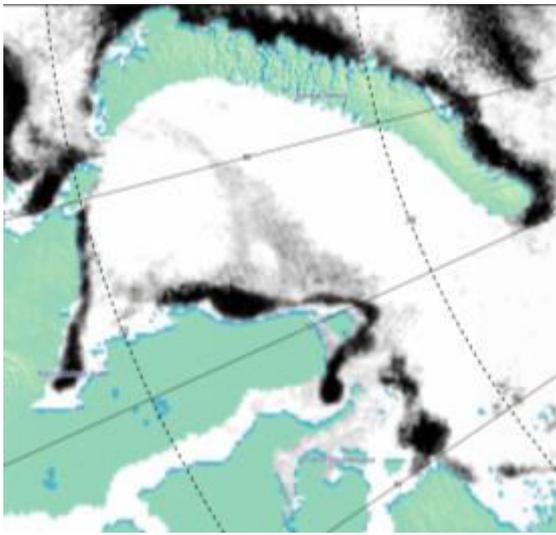


Рис.43 Изменение площади аномальной полыньи с 24.04.2010 по 30.04.2010

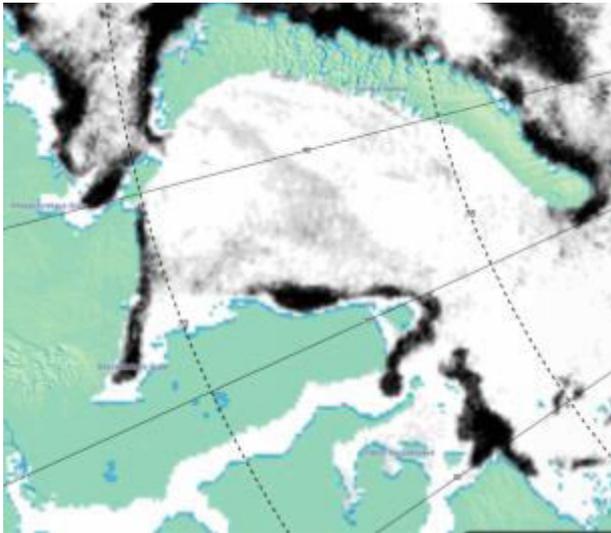
Полынья просуществовала относительно недолго, всего шесть дней.



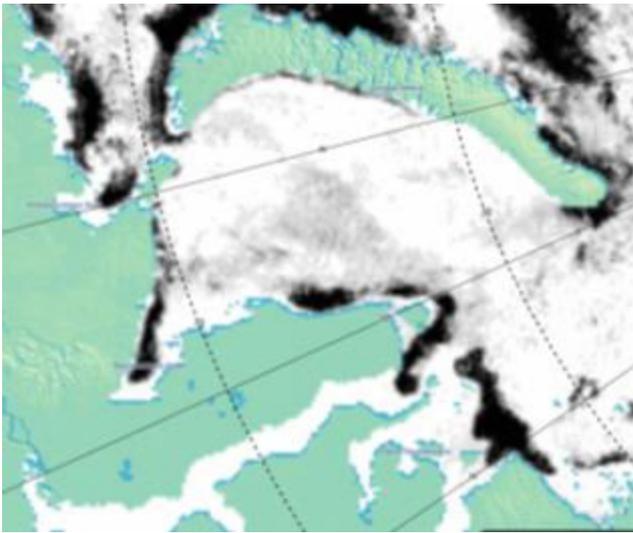
24.04.2010



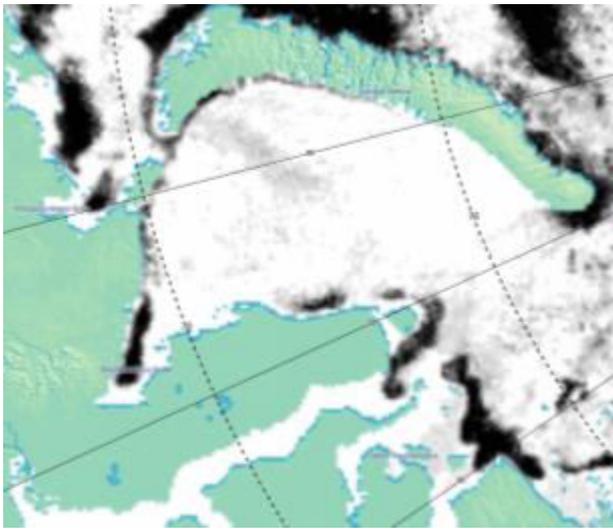
25.04.2010



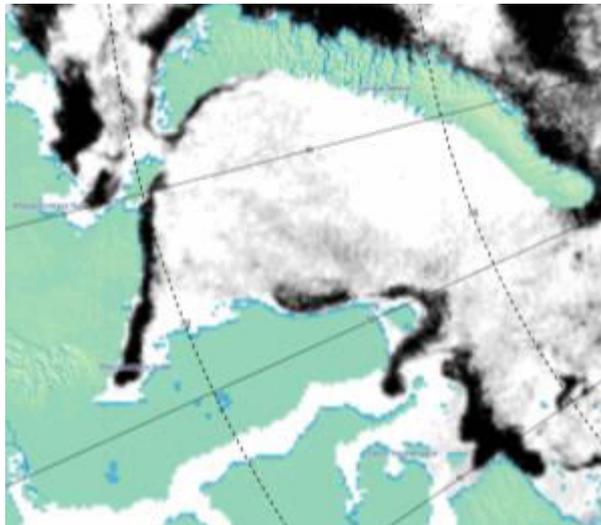
26.04.2010



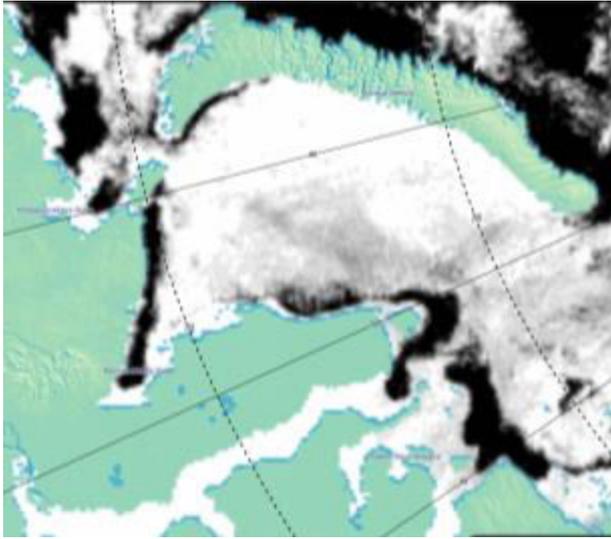
27.04.2010



28.04.2010



29.04.2010



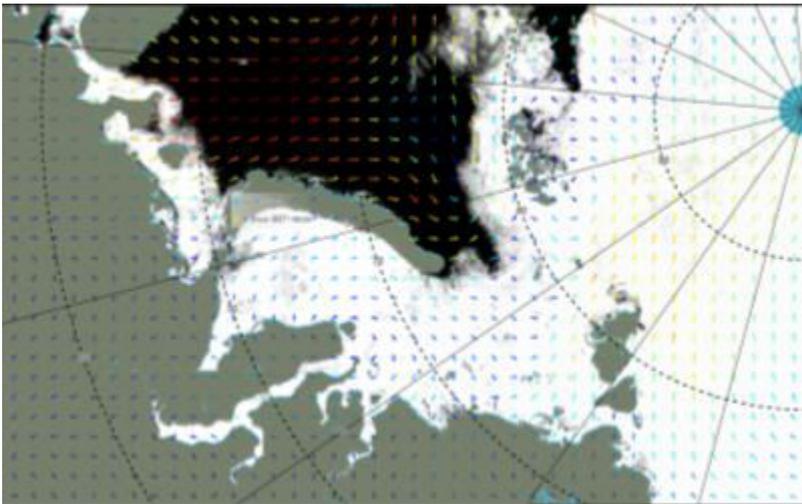
30.04.2010

Рис.44 Изменение аномальной полыньи

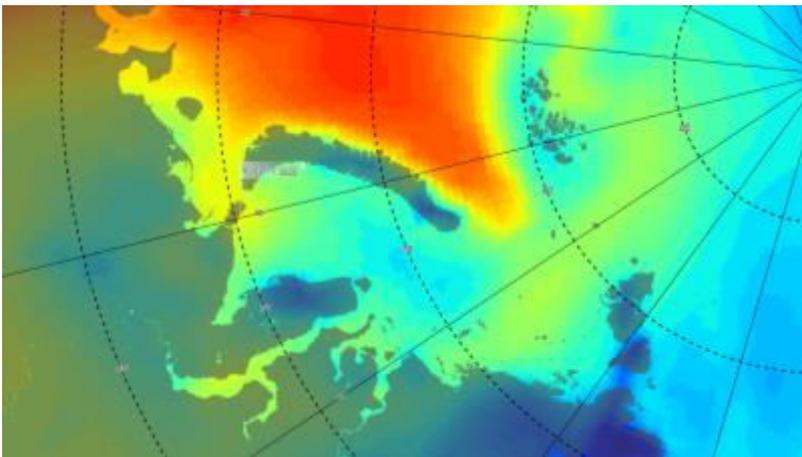
Полынья, зарегистрированная в Ямальской области распространения, также является аномальной. Её площадь в первый день выше на 2 тыс. км² от среднего значения и составила 6924 км². 22 апреля 2010 температура была -16,4 °С, скорость ветра 2,2 м/с, направление юго-восточное. 23 апреля температура немного повысилась и составила -14,1 °С, скорость ветра 5,5 м/с, направление северо-западное. 24 апреля 2010 температура очень резко повысилась до -5,1 °С, скорость ветра увеличилась до 14,4 м/с, продолжая дуть в северо-западном направлении. Таким образом, причиной аномалии этой полыньи являлось и резкое повышение температуры, и увеличение скорости ветра в данной области.

После существования в 7 дней, площадь полыньи уменьшилась и закрылась.

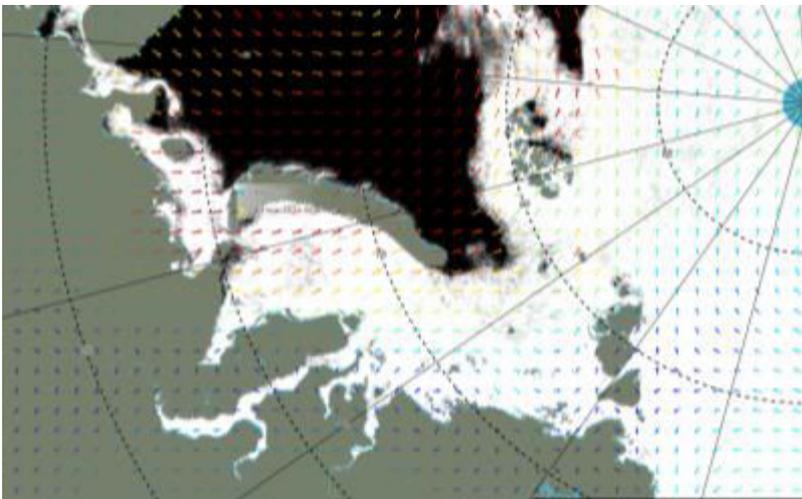
И, наконец, последний показательный случай был выделен 10 февраля 2016 года в районе Амдерминской полыньи.



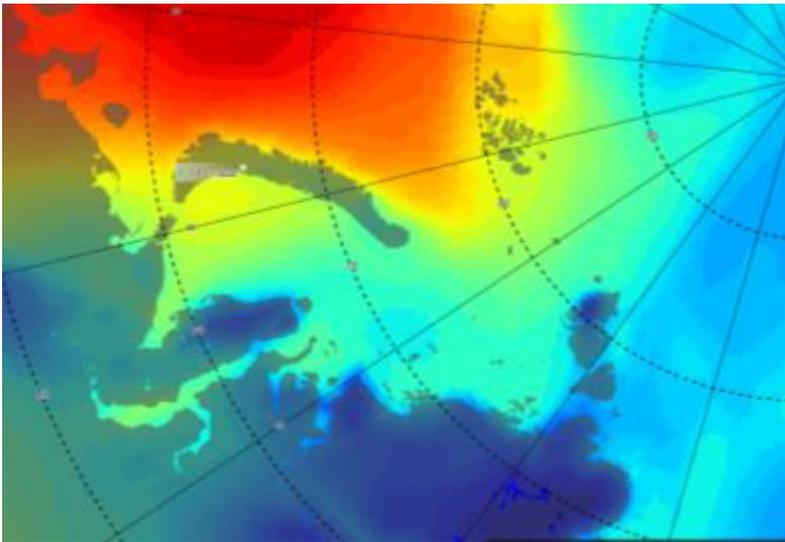
8.02.2016



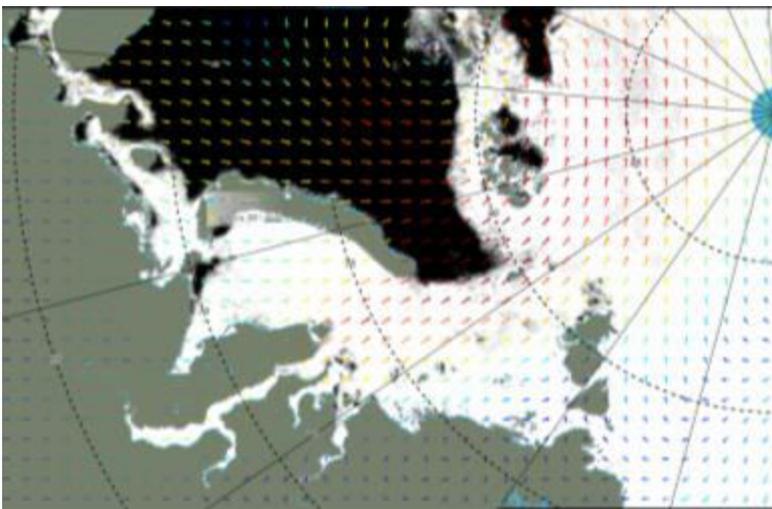
8.02.2016



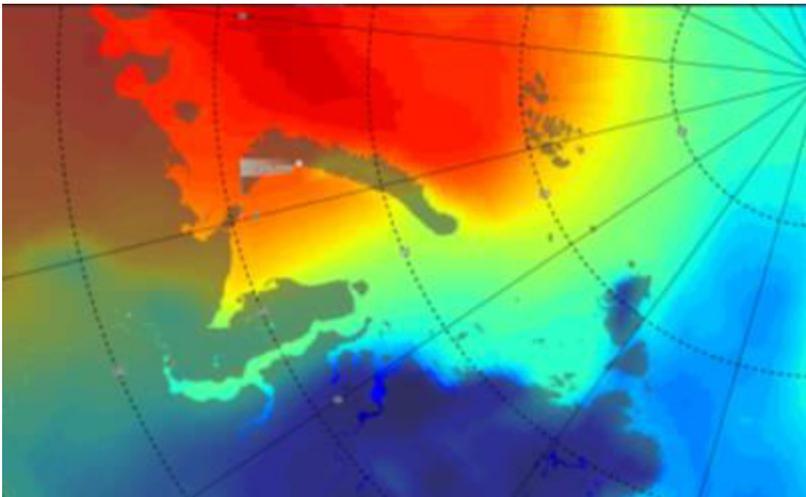
9.02.2016



9.02.2016



10.02.2016



10.02.2016

Рис.45 Изменение аномальной полыньи с 08.02.2016 по 10.02.2016

Табл.4

фев.16				
Ширина	Длина	Периметр	Площадь	Дата
59	102	4983	383	10
61	115	7481	424	11

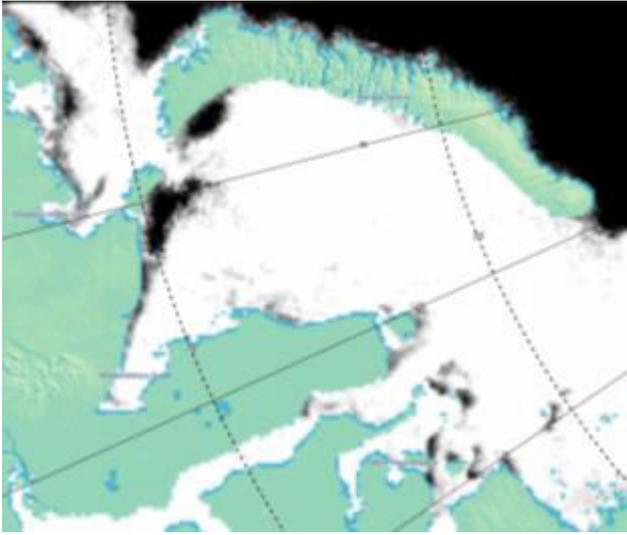
60	109	6028	394	12
44	121	7332	404	13
47	115	7315	402	14



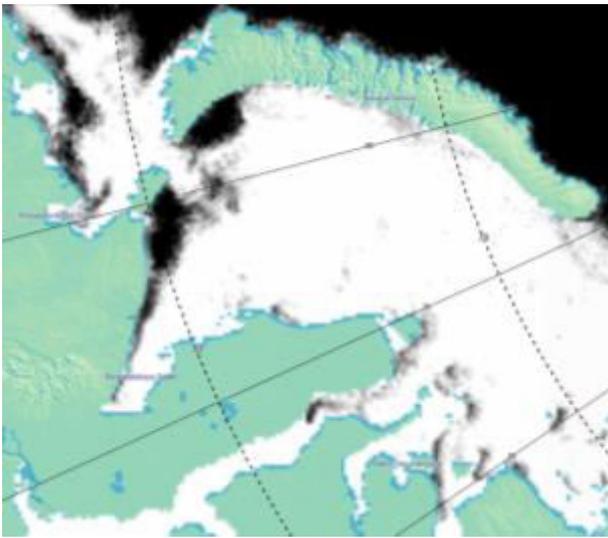
Рис.46 Изменение площади аномальной полыньи с 10.02.2016 по 14.02.2016

Как можно увидеть на рисунке 45,8 февраля 2016 температура в районе полыньи составляла всего $-13,1^{\circ}\text{C}$. На следующий день температура понизилась до $-14,7^{\circ}\text{C}$, однако в день раскрытия полыньи температура повысилась на 10 градусов до $-4,7^{\circ}\text{C}$. Разница между среднестатистической полыньей и зарегистрированной составила почти 2,5 тыс. км², что является довольно большим показателем аномальности. Таким образом, и здесь решающую роль в образовании аномалии сыграла температура.

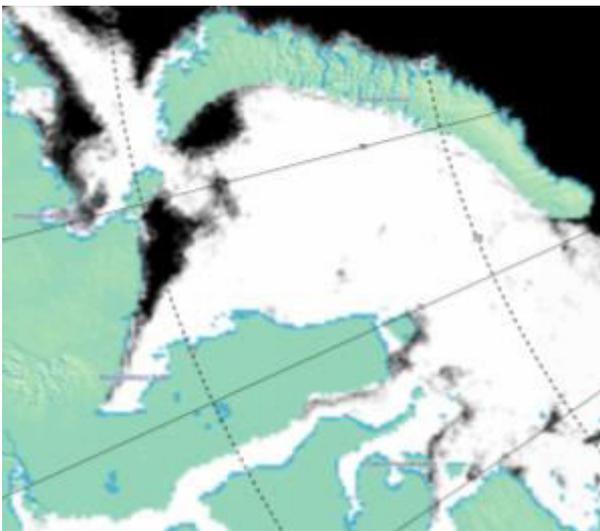
После аномального раскрытия, полынья просуществовала ещё 4 дня.



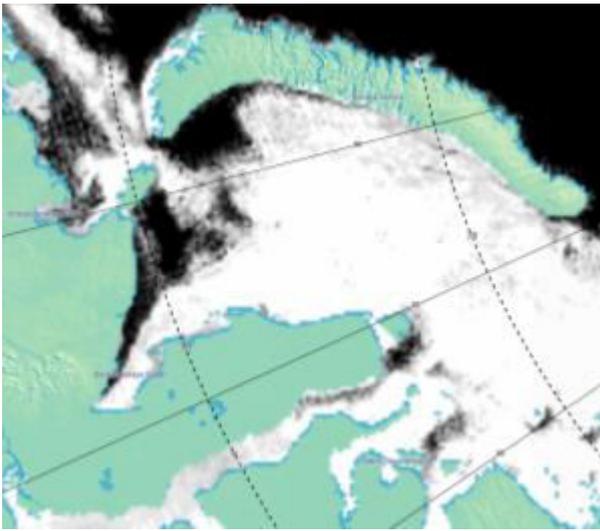
10.02.2016



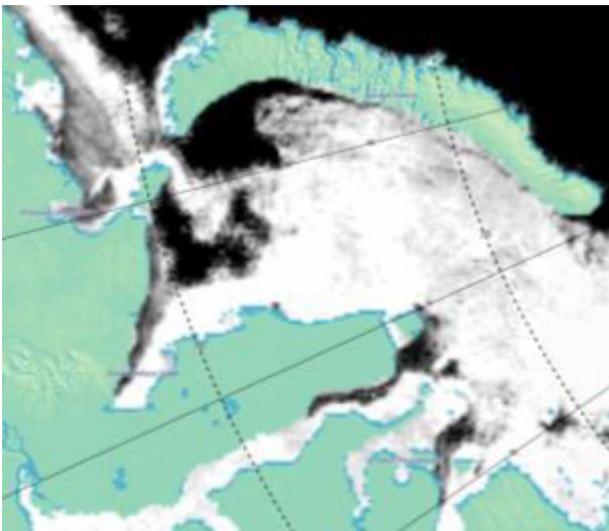
11.02.2016



12.02.2016



13.02.2016



14.02.2016

Рис.47 Изменение аномальной полыньи

Всего за учитываемый период с 2003 по 2019 год были выделены 16 случаев нетипичного поведения полыньи.

Табл.5

Дата	Полынья	Причина
9.03.2003 - 11.03.2003	ЮНЗ	Резкое повышение температуры, пришедшее с Баренцева моря.
12.06.2003 - 14.06.2003	ЮНЗ	Ветер
20.03.2003 - 22.03.2003	ЮНЗ	Температура и ветер
2.03.2004 - 04.03.2004	ЦК	Ветер
5.02.2004 -7.02.2004	АМ	Температура
7.11.2004 -9.11.2004	ЦК	Ветер
14.12.2004 - 16.12.2004	АМ	Температура и ветер
10.02.2005 -	ЮНЗ	Ветер

12.02.2005		
17.04.2005 - 19.04.2005	ЯМ	Температура
10.02.2006 - 12.2.2006	АМ	Ветер
30.03.2009 - 1.04.2009	ЯМ	Температура
22.04.2010 - 24.4.2010	ЯМ	Ветер
28.12.2010 - 30.12.2010	АМ	Температура
04.04.2016 - 06.04.2016	ЮНЗ	Ветер и температура
08.02.2016 - 10.02.2016	АМ	Температура
30.10.2018 - 1.11.2018	ЦК	Ветер и температура

Подводя итог, можно сказать, что предположение, высказанное в книге [7] вполне оправдано и проверено – ветер и температура играют решающую роль в образовании полыней в Карском море.

Заключение

Подводя итог данной работы, можно сказать, что был проведен всесторонний анализ многочисленных научных источников, связанных с объектом изучения, его историей, а также описание методики изучения. Спутниковые данные дали возможность для оценивания динамики заприпайных полыней с такой точностью, которая не была возможна на более ранних этапах исследований в других научных работах, что позволило более глубоко понять суть явления. Была рассмотрена динамика развития, межсезонная и межгодовая изменчивость заприпайных полыней Карского моря, выявлены причины их возникновения и факторы, влияющие на них, что позволит в дальнейшем делать более точные прогнозы по движению льда и процессам ледообразования на морях в целом.

В межсезонном масштабе были рассмотрены восемь месяцев – с ноября по июнь, - именно в то время, когда море покрыто льдом. Это позволило сделать важные выводы: в мае-июне, как раз перед летним разрушением припая, наблюдается самое большое количество полыней, которые одновременно с этим являются и самыми большими по размеру.

Была подтверждена стационарность полыней, заявленных в предыдущих работах исследователей: Амдерминская и Обь-Енисейская, которые наблюдаются наиболее часто.

В межгодовом масштабе выделяются 2003, 2016 и 2017 года. Это может быть связано с тем, что эти года считаются относительно теплыми среди остальных по характеристикам климата.

Влияние ветра и температуры на появление полыней также было изучено на примере так называемых «аномальных» полыней – тех, морфометрические характеристики которых отличаются от среднестатистических. Всего было выделено 16 случаев аномалий, причиной которых являлся либо прижимной ветер, либо резкое повышение или понижение температуры. Отдельно из 16 случаев были показаны три – 11

марта 2003 года, 24 апреля 2010 и 10 февраля 2016 года, как наиболее показательные случаи.

Исходя из полученных результатов, можно сформулировать дальнейшие задачи по изучению полыней Карского моря, а также других объектов арктических морей:

- Дальнейшее развитие алгоритмов обработки спутниковых микроволновых данных для более точного понимания сути явлений;

- Расширение области исследования не только для Карского моря, но и для других арктических морей России;

- Продолжение наблюдений за полынями, как основного объекта зимнего ледово-гидрологического режима арктических морей и объекта, являющегося климатообразующим фактором.

Список литературы

1. Антонов В.С. Новые данные о величине жидкого стока сибирских рек, впадающих в арктические моря. // "Тр. ААНИИ", 1968. - т. 285, с. 148
2. Воробьев В.И. Карское море. // Издательство Главсевморпути Ленинграда. – Москва, 1940г.
3. Добровольский А. Д. К характеристике структур и водных масс западной и центральной частей Тихого океана. // А.Д. Добровольский, В.В. Леонтьева, В.И. Кукса - "Тр. Института океанологии АН СССР", 1960, т. 40, с. 47-57
4. Добровольский А.Д. Моря СССР "Природа и хозяйство". // А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин - Издательство "Мысль"- Москва, 1965 г., 350 стр.
5. Зубакин Г.К. Ледяные образования морей западной Арктики: Монография // ААНИИ – Санкт-Петербург, 2006. - 272 с.
6. Зубакин Г.К., Ледовые образования морей. // 1988
7. Карелин И.Д. Припай и заприпайные полыньи Арктических морей сибирского шельфа в конце XX-начале XXI века. // И.Д. Карелин, В.П. Карклин - ГНЦ РФ ААНИИ – Санкт-Петербург, 2012
8. Карклин В.П. Сезонные изменения возрастного состава льдов в Северо-Восточной части Карского моря в осенне-зимний период. // В.П. Карклин, С.В. Хотченков, А.В. Юлин, В.М. Смоляницкий - Проблемы Арктики и Антарктики – 2016 г. С. 41-50
9. Международный проект, выполненный ГНЦ РФ ААНИИ и Международным Арктическим научно - исследовательским Центром при Университете штата Аляска, "Гидрохимический Атлас Северного Ледовитого океана", 2001 г.
10. Никифоров Е.Г. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана //

- Е.Г. Никифоров, А.О. Шпайхер - Гидрометеиздат, Ленинград, 1980 г. - 269 стр.
11. Номенклатура ВМО по морскому льду. Терминология - Том 1
WMO/ОММ/ВМО - No.259. Издание 1970 - 2017.
 12. Репина И.А. Электродинамическая модель излучения арктического ледяного покрова для решения задач спутниковой микроволновой радиометрии // И.А. Репина, В.В. Тихонов, Т.А. Алексеева, В.В. Иванов, М.Д. Раев, Е.А. Шарков, Д.А. Боярский, Н.Ю. Комарова // Исследования Земли Из Космоса. 2012. № 5. Р. 29–36.
 13. Русанов В. П. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана. // В.П. Русанов, Яковлев Н.И., Буйневич А.Г. - "Труда ААНИИ", том 355, 1979г. - с. 114
 14. Смирнов В.Г. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей. // Санкт-Петербург, 2011. - 240 с.
 15. Смирнов В.Г. Спутниковый мониторинг морских льдов // В.Г. Смирнов, А.В. Бушуев, Н.Ю. Захваткина, В.С. Лоцилов - Проблемы Арктики И Антарктики. 2010. - Т. 85, № 2. С. 62–76.
 16. Тимофеев В. Т. Водные массы Арктического бассейна. // Л., Гидрометиздат, 1960, 190 с.
 17. Тимофеев В. Т. Поступление атлантической воды и тепла в Арктический бассейн. // "Океанология", 1961. - т.1, вып 3, с. 407-411.
 18. Тимофеев В.Т. Косвенные методы выделения и анализа водных масс. // В.Т. Тимофеев, В.В. Панов - Л., Гидрометеиздат, 1962, 285с.
 19. Трешников А.Ф. Поверхностные воды в Арктическом бассейне. // "Проблемы Арктики", 1959. - вып. 7, с5-14.
 20. Уралов Н.С. Об адвективной составляющей теплового баланса южной половины Баренцева моря. // "Тр. ГОИН", 1961, вып 55, с 3-20.
 21. Фролов И.Е. Океанография и морской лед. Москва // Paulsen, 2011 - 432 с.

22. Шпайхер А.О. Распределение кремния как индикатора водных масс морей сибирского шельфа. // А.О. Шпайхер, В.П. Русанов - "Проблемы Арктики и Антарктики", 1972. - вып 40, с 64 - 70.
23. Andersen S. Intercomparison of passive microwave sea ice concentration retrievals over the high-concentration Arctic sea ice // Tonboe R., Kaleschke L., Heygster G., Pedersen L.T. - J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112, № C8. doi: 10.1029/2006JC003543.
24. Barber D.G. The role of snow on microwave emission and scattering over first-year sea ice // Fung A.K., Grenfell T.C., Nghiem S.V., Onstott R.G., Lytle V.I., et al. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1998. Vol. 36, № 5. P. 1750–1763.
25. Carsey F.D. Microwave Remote Sensing of Sea Ice (Geophysical Monograph 68). Washington D.C.: American Geophysical Union, 1992. 462 p.
26. Comiso J.C. Sea Ice Concentration and Extent // Encyclopedia of Remote Sensing / ed. Njoku E.G. New York, NY: Springer New York, 2014. P. 727–743.
27. Comiso J.C. Sea ice effective microwave emissivities from satellite passive microwave and infrared observations // J. Geophys. Res. Oceans 1978–2012. 1983. Vol. 88, № C12. P. 7686–7704.
28. Dare R.A. Atmospheric Response To Spatial Variations in Concentrations and Size of Polynyas in the Southern Ocean Sea-Ice Zone // Atkinson B.W. - Boundary-Layer Meteorology. 2000. V.94. N.1.P. 65-88
29. Data Users' Manual for the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) onboard the Global Change Observation Mission 1st - Water «SHIZUKU» (GCOM-W1) (1 марта 2013).
30. Fiedler E.K. Convective heat transfer over thin ice covered coastal polynyas // Lachlan-Cope T.A., Renfrew I.A., King J.C. - J. Geophysical Research. 2010. V. 115. N. C10. C10051

31. Grenfell T.C. Surface-based passive microwave observations of sea ice in the Bering and Greenland seas // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1986. № 3. P. 378–382.
32. Grenfell T.C. Considerations for microwave remote sensing of thin sea ice // ., Cavalieri D.J., Comiso J.C., Drinkwater M.R., Onstott R.G., Rubinstein I. et al - Microw. Remote Sens. Sea Ice. 1992. P. 291–301.
33. Hewison T.J., English S.J. Airborne retrievals of snow and ice surface emissivity at millimeter wavelengths // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1999. Vol. 37, № 4. P. 1871–1879.
34. Hwang B.J. Investigations of newly formed sea ice in the Cape Bathurst polynya: 2. Microwave emission // Ehn J.K., Barber D.G., Galley R., Grenfell T.C. - J. Geophys. Res. Oceans. 2007. Vol. 112, № C5. doi: 10.1029/2006JC003703.
35. Ivanova N. Retrieval of Arctic Sea Ice Parameters by Satellite Passive Microwave Sensors: A Comparison of Eleven Sea Ice Concentration Algorithms // Johannessen O.M., Pedersen L.T., Tonboe R.T. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2014. Vol. 52, № 11. P. 7233–7246.
36. Kawaguchi Masayoshi, Yoshida Tatsuya. Regular Observation by Global Change Observation Mission 1st-Water GCOM-W1 (SHIZUKU) (АНГЛ.) // NEC Technical Journal : журнал. — 2013. — September (vol. 8, no. 1). — P. 32—35.
37. Ketchum R.D. Passive microwave imagery of sea ice at 33 GHz // Remote Sens. Environ. 1980. Vol. 9, № 3. P. 211–223.
38. Kwok R. Ross Sea polynyas: Response of ice concentration retrievals to large areas of thin ice // Comiso J.C., Martin S., Drucker R - J. Geophys. Res. Oceans. 2007. Vol. 112, № C12. doi: 10.1029/2006JC003967.
39. Mäkynen M. Thin ice detection in the Barents and Kara Seas with AMSR-E and SSMIS radiometer data // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2015. Vol. 53, № 9. P. 5036–5053.

40. Markus T. Microwave Signatures of Snow on Sea Ice: Observations // Cavalieri D.J., Gasiewski A., Klein M., Maslanik J.A., Powell D.C. et al - IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2006. Vol. 44, № 11. P. 3081–3090.
41. Mathew N. Surface emissivity of the Arctic sea ice at AMSR-E frequencies // Heygster G., Melsheimer C. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2009. Vol. 47, № 12. P. 4115–4124.
42. Matzler C. Polarization effects in sea ice signatures // Ramseier R., Svendsen E.- IEEE J. Ocean. Eng. 1984. Vol. 9, № 5. P. 333–338.
43. Meier W.N. Comparison of passive microwave ice concentration algorithm retrievals with AVHRR imagery in Arctic peripheral seas // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2005. Vol. 43, № 6. P. 1324–1337.
44. Naoki K. Thin sea ice thickness as inferred from passive microwave and in situ observations // Ukita J., Nishio F., Nakayama M., Comiso J.C., Gasiewski A. - J. Geophys. Res. Oceans. 2008. Vol. 113, № C2. doi: 10.1029/2007JC004270.
45. NORSEX Group. Norwegian remote sensing experiment in a marginal ice zone // Science. 1983. Vol. 220, № 4599. P. 781–787.
46. Powell D.C. Microwave signatures of snow on sea ice: Modeling // Markus T., Cavalieri D.J., Gasiewski A.J., Klein M., Maslanik J.A., et al. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2006. Vol. 44, № 11. P. 3091–3102.
47. Savijarvi H. Antarctic Local Wind Dynamics and Polynya Effects on the Adelie Land coast // Quarterly J. Royal Meteorological Soc. 2011. V. 137. N. 660. P. 1804-1811
48. Shokr M. Microwave emission observations from artificial thin sea ice: the ice-tank experiment // Asmus K., Agnew T.A. - IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2009. Vol. 47, № 1. P. 325–338.
49. Teleti P.R. Sea Ice Observations in Polar Regions: Evolution of Technologies in Remote Sensing // International Journal of Geosciences. 2013. Vol. 4, № 7. P. 1031-1050.

50. Tonboe R.T. The simulated sea ice thermal microwave emission at window and sounding frequencies // *Tellus A*. 2010. Vol. 62, № 3. P. 333–344.
51. Troy B.E. Measurement of the microwave properties of sea ice at 90 GHz and lower frequencies // Hollinger J.P., Lerner R.M., Wisler M.M - *J. Geophys. Res. Oceans*. 1981. Vol. 86, № C5. P. 4283–4289.
52. Tucker W.B. Physical properties of summer sea ice in the Fram Strait // Gow A.J., Weeks W.F.- *J. Geophys. Res. Oceans*. 1987. Vol. 92, № C7. P. 6787–6803.
53. Tucker W.B., Microwave and physical properties of sea ice in the winter Marginal Ice Zone // Grenfell T.C., Onstott R.G., Perovich D.K., Gow A.J., Snuchman R.A., Sutherland L.L. - *J. Geophys. Res. Oceans*. 1991. Vol. 96, № C3. P. 4573–4587.
54. Vihma T. Effects of Arctic sea ice decline on weather and climate: A review // *Surv. Geophys.* 2014. Vol. 35, № 5. P. 1175–1214.
55. Wilheit T.. Aircraft measurements of microwave emission from Arctic sea ice // Nordberg W., Blinn J., Campbell W., Edgerton A - *Remote Sens. Environ.* 1971. Vol. 2. P. 129–139.
56. Willmes S. The microwave emissivity variability of snow covered first-year sea ice from late winter to early summer: a model study // Nicolaus M., Haas C. - *The Cryosphere*. 2014. Vol. 8, № 3. P. 891–904.
57. Интернет-портал Спутниковой океанологической лаборатории / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://siows.solab.rshu.ru/> (дата обращения: 01.09.2018)
58. Официальный сайт ECMWF / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim> (дата обращения 01.09.2018)

Приложение А

	ЮВ				СН				ЮН				АМ			ЯМ				ОЕ				ЦК				ЗСЗ					
Дек	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	Шир	Дли	Пло	Пер	
ады	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	ина	на	щадь	имет	
I	12,7	111,25	132,425	253,5												29,49	258	672,1	574,8571	32,05	129	294,15	380										
II	21,72	42,2	569	105,2									23,5	233,5	440,5,5	478,5				14,95	43,5	437	120	16,15	45	469,5	110						
III	20,275	84	166,0,625	202,5					27,14286	258,8571	648,2,286	581,2857	34,87143	178,8571	507,6,857	410,4286				42,9375	92,125	237,0,5	284,75	25,9625	57,1125	100,4,125	149,25	20,8	37	613,5	108,5		
I	19,5	112,75	202,475	247					20,93333	255,3333	539,4,167	551,3333	26	144	327,7,333	321,6667				13,64286	47,42857	450,428	101,2857					6,6	209	304,6	477		
II	12,65	47	453,5	112,5	9,8	40	275	98	39,25	434,25	126,22,25	952,5	22,62	148,6	221,4,4	276,6	12,25	226,5	351,9,5	504,5	20,52	195	379,7,8	437,4	19,58	115,8	205,6,6	296,2	13,3	218	287,6	490	
III	20,18571	117,4286	250,4,286	289					15,4	149,5	119,7	323,5	14,35	153,5	304,8,5	327,5	19	42	438	101	30,525	168	383,6	405,25	9,85	107,5	149,9	221,5	26	262	307,2	480	
I	20,575	68	106,9,25	164,25					11	158	273,3	342					16	164	168,5	412	37	177,1667	526,9,333	449,3333	8	154	192,9	327	14,6	211,5	336,3	481,5	
II	14,8	73,66667	109,5,66667	165,33333	23,93333	187,33333	507,2,16667	451,66667	58,66667	290	141,25,5	681,83333	37,45714	207	538,3,85714	407,1429	14,8	110	144,8	249	15,26667	161,16667	333,9	346,33333	19,66667	64,33333	117,3,33333	167,66667					
III	30,08571	94,57143	238,0,85714	236	14,16667	265,66667	285,56667	560,66667	32,58	355,6	107,52	762,2	28,66667	225,66667	563,7,66667	480,33333	15	115	144,9	249	16,6	144,33333	292,7	341,33333					20	77	629	155	
I	22,86	101,8	156,8,6	226	20,15	191	457,9,5	439	27,98	289,8	877,0	692,8	15,3	132,25	185,6	306,5					15,24	105,6	141,0	228,6									
II	31,675	162,125	301,2,875	351	20,8375	289,75	550,0,125	626,25	34,8	450,7	153,75,2	1016,3																					
III	24,233333	83,01111	183,5	204,33333					37,4	315,2	105,02,2	695,4					29,25	461	120,73,25	1007,75	28,5	86	160,5,25	225,5	22,55714	164,28571	263,3,57143	372,8571	16,67143	173,4286	368,0,286	409,8571	
I	7,4	32,5	277	79					23,5	167	455,1	396	15,15	111,5	169,8,5	282	96,3	407	155,66,9	943	24,5	95,16667	237,5,16667	247	27,75	138,375	291,1,625	339,5	14,42	115	159,1,8	257,4	
II	15,3	110,	173	245,	39,2	199,	799	510,	34,6	241,	106	708,	26,5	83,9	609	252,	43	188,	807	473,	33,7	154,	107	393	30,8	82,5	179	208,	9,55	182,	193	296	

	625	25	0,25	5		1	7,4	7	9	1	78,1	8	5		4,7	2		666	6,66	7778		9	17,1		333		6	5		5	7,5				
III	51,4	165,	862	455,	42,5	326	186	918,	53,5	266,	179	990	27	78,2	212	232	17,9	80,3	243	219,	25,6	114,	390	370,	11,6	286	552	628	17,7	100,	186	219,			
	4	1	8,7	2			07	5		5	85			5	1,5		666	333	8	6667	125	125	1,5	25	666	7	8,66		25	3,25	5				
I	63,2	91,8	101	439,	33,8	283,	125	701,	20,6	239,	675	589,	18,2	504	935	1018	88,3	95,6	365	399,	33,1	107,	407	331,	22,9	136,	330	316,	34,6	123,	362	314			
			80	2		5	85,9	7	666	5	3,83	6667	333		6	,667	333	666	4,66	5	111	888	6,22	6667	75	5	7,62	375	666	444	7				
									7		3		3				3	7	7	5	1	9	2		5		5	7,62	375	666	444	7			
II	38,9	53,2	553	324,	36,1	132,	491	379,	28,3	159	429	375,	20,0	53,5	143	181	36,8	110,	261	286,	28,7	218,	108	581	49,5	53	355	275	24,7	43,2	135	150,			
	25	75	8,75	25		2	3,4	2	285		7,57	5714	666		0,66		857	571	1,42	8571	3	8	31,1		333	9			857	9	5143				
									7		1	7			7		1	4	9						3										
III	23,1	45,8	134	183,	43,1	100,	433	295,	39,2	78,5	189	205,	27,3	91,6	300	284,	21,4	104	243	255	55,8	254,	221	865,	28,4	43,2	142	156,							
			7,5	5	818	363	6,90	1818	777	555	0,22	8889	454	363	6,18	1818	5		4			2	07,4	1	285	714	5,28	5714							
					2	6	9		8	6	2	5	6	2										7	3	6									
III	21	46	563	165	33,2	94,2	418	306,					23,5	163,	354	344					20,8	149,	325	367,											
					5	5	9,5	75						5	4							875	625	75											
I	28	25	429	100	30,3	160,	485	329,	37	446,	144	860	19,2	116,	947,	395					17,1	90	234	247,											
					333	666	5	6667		5	48			75	5							333	7,66	6667											
					3	7																3	7												
II	18,5	150	671	135,									15	123,	283	409,					12	27	762	129											
				5										75	9,75	25																			
III	10,6	16,7	316,	82									55	73,5	147	205,	16,1	25,5	942,	152	14	63	923	169											
		5	5											2,5	2,5	25	5	5	5																
I	15,3	113,	236	265,					13	134	525	391,	33	98	262	234					21	72	112	168	21	85	178	209							
	333	666	9,66	3333							3,5	5			8																				
II	7,3	98	786	166									69,5	55,5	100	182					27,5	33	967,	129	24	217	741	375							
															1,5								5												
I	11,4	16,4	202	80					24,8	103,	193	264,	21,2	167,	373	425,	11	231	234	414	21,4	81,4	111	147,	21,4	187,	784	393,							
									333	666	5,66	6667	5	25	1,25	25			6				6,6	4	8	6	9,2	8							
									3	7	7																								
I	7,6	18,4	179	256	19,5	304	569	507																											
			8			5																													
III	17,1	82	126	203,																															
			2	5																															
I	13,5	26	274,	137,	31,7	67,5	130	153,									10,9	159,	184	354,	36,6	83,3	265	226,	26,8	246	816	596,	51,5	41,5	913,	171,			
			5	5		7	5	5									4	2	9,8	2	666	333	9,33	6667	8	1,8	2	2			5	5			
II	21,5	47,5	324	89,5	12,5	65,5	101	169,									8	155	155	330	26,9	99,7	272	239,	34,6	320,	965	612	18,0	133,	307	352,			
							5	5													75	5	8,62	75	8	9	4		7	3	1,9	1			
III	21,7	73	126	212,	80,5	76,9	428	542,									17,7	181	314	398,	29,4	102,	515	390,	30,4	128,	403	331,	20,7	151,	190	297,			
	4		4,6	4	272	090	2,54	1818									285		6,42	1429	625	875	3,5	25	7	2	7,5	9	142	4,71	4286				
					7	9	5										7		9																

I	63,5 555 6	90	962 6,22 2	429, 1111 1	33,1 111 4	279, 444 7	122 17,6 3333	694, 22,6	263, 4	704 4,6	638	18,2 333 3	504	935 6	1018 ,667	88,3 333 3	95,6 666 7	365 4,66 7	399, 5	29,4 285 7	111, 428 6	428 8,14 3	328, 2857	21,9 714 3	144, 428 6	357 3	333	33,2 5	116	331 3,75	295, 875		
II	52	67,5	802 2,5	407, 5	29,5	194, 5	792 6,5	565, 5	28,3 285 7	159	429 7,57 1	375, 5714 7	20,0 666 7	53,5	143 0,66 7	181	36,8 857 1	110, 571 4	261 1,42 9	286, 8571	32	221, 571 4	120 48,7 1	594, 5714	49,5 333 3	53	355 9	275	24,7 857 1	43,2	135 9	150, 5143	
III	23,1	45,8	134 7,5	183, 5	43,1 818 2	100, 363 6	433 6,90 9	295, 1818	37,2	71,2	166 4,6	188, 4	26,1	70,5	264 8,12 5	258, 875 5	21,4	104	243	255	55,8	254, 2	221 07,4	865, 1	28,4 285 7	43,2 714 3	142 5,28 6	156, 5714					
I	17,8 666 7	46,6 666 7	150 8,33 3	186, 6667	12,6	60	159 9	194	42	374	128 36	859									25,2 5	101, 9	332 6	277, 9	27,5	76	253 8	214	18,3	34	342	86	
II	17,0 25	35,2 5	698, 5	126	17,6	65	461	123													25	36	336	133	13,4 75	44,0 25	101 4,75	145, 5					
III	19,8	75,5	123 6	169, 5	18,6	93	106 3	198													19,7 333 3	48,1 833 3	814, 166 7	127, 1667									
II	7	8	79	88	15	40,7 5	995, 75	168	46,5	183	528 5,5	375, 5	42,8	148, 575	757 5	407, 25	17,6	93	289 3	325	17,2 285 7	48,1 428 6	123 6,71 4	142, 2857	16,3 333 3	34	669	120, 6667					
III	23,1 125	102, 375	317 1	253, 875					65	120	715 3	358, 5	50,2 2	107, 9	441 6,6	358, 9					19,4 727 3	71,4 727 3	163 2,90 9	191, 0909									
I	18,0 333 3	34,6 666 7	486	106, 3333	32	169	372 4	352	36	204	645 4	452	10,3 142 9	124, 428 6	217 2,57 1	290, 1429					16,2	71,7 111 1	181 7,33 3	204, 2222									
II	47,2	80,6	187 1,2	188, 8											17,4 3	165, 7	273 9,7	292, 4	2,4	14,4	229	61	16,2 5	75,0 6	131 4,3	182, 3							
III	36,2	126, 166 7	531 8,33 3	382, 5											18,5	99,5	791	151			11,5 25	48,7 5	142 0,75	170, 25									
I	21	41	100 9	163	17,6	96	196 5	235	36,6 666 7	199, 833 3	803 4,33 3	538, 1667	20,8 666 7	159	381 6,83 3	354, 3333	14	75	643	205	39,7 5	146, 25	856, 25	169	20	51	136 6	161					
II	31,5 8	127, 2	252 1,8	272, 4					12	98,5	145 7	243, 5																	22,3 5	104, 5	215 8,5	287, 5	
III	10,9 5	136, 5	445 3	279	12	87,5	217 0	294										14,8 4	144	196 5,8	229, 4	30,5	37	850	142, 5								
I	23,7 75	68,7 5	156 8,75	182	11,5 25	224, 75	940, 75	410, 75	8,5	122, 5	240 2,5	507									16,3 333 3	87,6 666 7	863	143, 3333									
II	12,3 625	59,0 875	100 1,87 5	159, 125														24,4	188, 4	271 2,6	320, 4	35,1 666 7	124, 5	437 9,16 7	387, 5	21,8	176, 428 6	423 6,14 3	403, 7143	28,5	137, 5	197 8,83 3	233, 3333
III	20,2 5	44,5	104 2,5	148	17,1	20	524	109	19,8 333 3	293, 666 7	501 9	547, 6667					19,9 5	118, 333 3	179 5,5	216, 8333	21,7 222	44,5 555 6	113 2,44	162, 3333	26,0 857 1	140	322 9,28 6	317, 8571	33,6 666 7	61,6 666 7	125	187	

II	12,6 6	31	419, 8	92,6	37	58	703	150									22	37	902	166	13,6 333 3	65,1 666 7	784, 166 7	180, 1667	28,8 5	55,5	147 1,25	180, 125	15,5 333 3	107, 666 7	133 9,33 3	293		
I	19,7	37	929	142																	15,4	86	691	154	27	56	152 7	171						
I	27,7 666 7	87,6 666 7	269 4,16 7	256, 3333								16,5	46,3 333 3	382, 333 3	91,6 6667					21,4	55	597	137	19,5	62,5	717, 5	144, 5	22,5	152	302 1	375, 5			
III	20,5	39,5	473, 666 7	107, 6667					40	62	111 9,5	230	20,6 666 7	51,6 666 7	686, 5	163, 8333	14	19	372	88	24,2 142 9	54,4 285 7	113 5,28 6	172, 1429	20,1	41	734, 5	126, 375						
I	24,6 666 7	70,3 333 3	155 8,33 3	203, 8333	5	9	241	164					16,2	74,5	623, 5	194, 5					18,3	60,2 5	121 1,75	190	15	87	905	181						
II	17,9 333 3	48,3 333 3	828, 666 7	140, 6667					17,7	159	238 4	350	19,6 666 7	117	225 1,33 3	271, 3333					13,1 714 3	38,2 571 4	625	121, 7143	15,6 5	79,8 333 3	107 6,66 7	201, 5	10,9 5	56	455	117		
III	23,5 2	48,8	783, 6	134, 4									14,8	88	994	202					17,6	30	394	93,8	22,1 5	41	103 3	158, 5	18,5	29	524	132, 5		
I	11,5 5	47,5	902, 25	137					17,6	199	175 6	265					18,8	216, 5	596 5,5	526	12,8 5	52,2 5	780, 5	135, 75	21,5	46,5	755	129, 5						
II	21,6 666 7	31	590, 666 7	127, 3333					25	76	142 9	302	9,56 666 7	80	112 7	217	21	27	274	81	23	26	417	94										
III	17,7 5	49,7 5	895, 25	164, 5					20,5 333 3	93,3 333 3	230 4,66 7	299	44,2	109	522 2,4	342					31	80,3 333 3	178 7,5	210, 5	8,15	94	103 6	184, 5	10,2	78,5	903, 5	180, 5		
I	27,6 25	52,6 25	882	135, 75					22,9 6	153, 2	389 0	1065 ,4	30,4	88,8	355 0,2	261, 6																		
II	19,7	51	828	134	21	88	170 0	195	28,7 5	117, 75	381 8,5	385, 25	18,3 75	124	200 6	287					19,3 333 3	84,6 666 7	113 2,33 3	199, 3333	14,1 25	67,5	610, 25	121, 75	16,1	126, 75	205 1	244, 5		
III	23,4	78,6	253 0,4	235, 6					24,2 857 1	193	777 1,57 1	484, 2857	27	147, 555 6	453 2,66 7	397, 5556	39	102	347	361	31,9 833 3	145, 833 3	539 3,66 7	388, 1667	10,4	159	255 4	312	13,5 75	117, 25	262 3,25	296, 75		
I	13,5	54	715, 4	134, 4	67,6 5	84,5	179 4	248	24,9 857 1	165	587 5,71 4	463, 5714	22,8 5	89,3 75	212 1,37 5	241, 5	55,4 285 7	451, 714 3	149 52	934, 1429	24,5	95,1 666 7	237 5,16 7	247	27,7 5	138, 375	291 1,62 5	339, 5	14,4 2	115	159 1,8	257, 4		
II	13,9 5	140, 625	249 2,87 5	311, 25	23	102, 5	243 8,5	261					28	72	399 3	371	47	304, 285 7	125 44,8 6	732	33,7	154, 9	107 17,1	393	30,8 333 3	82,5	179 6	208, 5	9,55	182, 5	193 7,5	296		
I	67	103, 333 3	124 88,3 3	459, 6667	37,1 666 7	297, 333 3	132 65,3 3	726	22,6	263, 4	704 4,6	638	18,2 333 3	504	935 6	1018 ,667	88,3 333 3	95,6 666 7	365 4,66 7	399, 5	29,6 25	123, 25	485 3,75	357	21,9 714 3	144, 428 6	357 3	333	34	123, 571 4	351 8,42 9	309		
II	59,3 75	79,3 75	815 2	412, 25	32	54	220 1	226	28,3 285 7	159	429 7,57 1	375, 5714	20,0 666 7	53,5	143 0,66 7	181	36,8 857 1	110, 571 4	261 1,42 9	286, 8571	32,1 666 7	224, 166 7	125 88	600, 6667						28,5	63	196 9,5	203, 5	

III	23,1	45,8	134 7,5	183, 5	44,5 714 3	114, 142 9	498 2,71 4	322, 8571	37,2	71,2	166 4,6	188, 4	24,8 285 7	67,8 571 4	276 7	256, 1429	21,4 5	104	243 4	255	55	249, 833 3	212 67,5	807, 5	34,7 6	46,1 9	206 5,4	192, 1	24,0 833 3	39,9	124 2,5	141, 7667	
I	29,9 5	67,7 5	114 8,75	141, 5																	21,5 5	85	314 6,5	273, 5	14,7	42,5	622	138	18,6	62	134 0	186	
I	23	40	527, 25	131									24	57	595	134	25	151	258 1	294	7	19,5	569	122	10,2 25	52,2 75	106 7,75	175, 75	12,2	81	168 5	236	
II	9,3	146, 5	248 9	266	41,7 5	74,5	256 6,5	236					15,9 333 3	71	671	171	11,5	116, 5	310 0	304	17,3 333 3	26,3 333 3	446, 333 3	122									
III	15,5	31,5	112 0,5	115, 5	48	142	287 6	304					23,2	121, 4	126 3	228, 6					15	94	115 2	266									
I	14	25	521	116	11	15	113 4	158	27,7 5	182, 666 7	462 4,33 3	410, 3333																					
II	6	9	284	67,3	36,6 666 7	90,6 666 7	285 5,66 7	265, 6667									12,2	90	768	188	20	23	292	102					8,6	103	210 2	248	
III	11,6 666 7	17,3 333 3	321, 666 7	112, 6667									23,2 5	69,5	102 9	163, 75	19,5 5	69,5	111 7,5	184, 5	20,3 666 7	62,8 333 3	103 6,16 7	167, 6667									
I	39	69	123 3,5	161, 5									28,5	71	645, 5	145, 5					13,7 75	68,7 5	134 8,25	186, 25					36,6 25	137, 75	538 5	462, 75	
II	28,0 5	153	337 5,5	385	22,1 5	52	936, 5	163, 5					19,9 428 6	53,5 714 3	105 3,14 3	175, 7143					30,8 25	111, 5	248 5	257, 75				12,6	62	224 9	277, 5		
III	26,6	101	200 5,33 3	231, 3333	39	44,5	136 3	181	21,6 333 3	185, 333 3	388 7,66 7	339, 6667	14,6	57,6 666 7	751	142	23	39	143 5	180	43	88,4	407 6,2	320, 2									
I	27,6 25	52,6 25	882	135, 75					22,9 6	153, 2	389 0	1065 ,4	30,4	88,8	355 0,2	261, 6																	
II	19,7	51	828	134	21	88	170 0	195	28,7 5	117, 75	381 8,5	385, 25	18,3 75	124	200 6	287					19,3 333 3	84,6 666 7	113 2,33 3	199, 3333	14,1 25	67,5	610, 25	121, 75	16,1	126, 75	205 1	244, 5	
III	23,4	78,6	253 0,4	235, 6					24,2 857 1	193	777 1,57 1	484, 2857	27	147, 555 6	453 2,66 7	397, 5556	39	102	347 1	361	31,9 833 3	145, 833 3	539 3,66 7	388, 1667	10,4	159	255 4	312	13,5 75	117, 25	262 3,25	296, 75	
I	13,5	54	715, 4	134, 4	67,6 5	84,5	179 4	248	24,9 857 1	165	587 5,71 4	463, 5714	22,8 5	89,3 75	212 1,37 5	241, 5	55,4 285 7	451, 714 3	149 52	934, 1429	24,5	95,1 666 7	237 5,16 7	247	27,7 5	138, 375	291 1,62 5	339, 5	14,4 2	115	159 1,8	257, 4	
II	13,9 5	140, 625	249 2,87 5	311, 25	23	102, 5	243 8,5	261					28	72	399 3	371	47	304, 285 7	125 44,8 6	732	33,7	154, 9	107 17,1	393	30,8 333 3	82,5	179 6	208, 5	9,55	182, 5	193 7,5	296	
I	67	103, 333 3	124 88,3 3	459, 6667	37,1 666 7	297, 333 3	132 65,3 3	726	22,6	263, 4	704 4,6	638	18,2 333 3	504	935 6	1018 ,667	88,3 333 3	95,6 666 7	365 4,66 5	399, 5	29,6 25	123, 25	485 3,75	357	21,9 714 3	144, 428 6	357 3	333	34	123, 571 4	351 8,42 9	309	
II	59,3	79,3	815	412,	32	54	220	226	28,3	159	429	375,	20,0	53,5	143	181	36,8	110,	261	286,	32,1	224,	125	600,					28,5	63	196	203,	

	75	75	2	25			1		285		7,57	5714	666		0,66		857	571	1,42	8571	666	166	88	6667								9,5	5
III	23,1	45,8	134 7,5	183, 5	44,5 714 3	114, 142 9	498 2,71 4	322, 8571	37,2	71,2	166 4,6	188, 4	24,8 285 7	67,8 571 4	276	256, 1429	21,4 5	104	243 4	255	55	249, 833 3	212 67,5	807, 5	34,7 6	46,1 9	206 5,4	192, 1	24,0 833 3	39,9	124 2,5	141, 7667	
III	19,8 5	77,5	260 8,5	248, 75												24	150, 75	398 5	407	26,4 333 3	54,6 666 7	130 2,33 3	165, 3333	18,9 333 3	91,3 333 3	100 7,33 3	176, 6667						
II	16,9 5	37	613	125, 5								11,8 5	51,5	585	114, 5	11,2	67,5 2	174 2	228, 8	17,3 333 3	32	662	118, 3333	13,2 2	112, 2	201 5,8	239, 4						
III	13,6 666 7	68	103 5	194					10,4	92	117 0	232	22,1	104, 6	186 0,6	267									11,9 333 3	51,3 333 3	817, 666 7	164, 6667	14,9 333 3	65	109 8,66 7	169, 6667	
I	22	56	220 9	211	7,7	58	128 0	171	11,5	73,6 666 7	966	174, 6667	31,9 666 7	85,5	385 7	344, 8333					19,0 142 9	59,4 285 7	123 5,42 9	167, 8571	15,8	44,3 333 3	822, 666 7	132, 3333					
II	12,1 5	51,5	107 2	152, 5					23	65	108 1	169	21,0 5	86,3 333 3	161 2,5	212					18,1 666 7	99,8 333 3	191 9	212, 6667	21	97	102 4	192					
III	18,5	54,5	575, 25	120, 75									18,6	34,5	333, 5	86,5	17,3	63	503	164	29	37	494	108	7,7	64	917	147	17	26	583	113	
I	25,6 666 7	64,8 333 3	188 8,5	212, 8333									8,96 666 7	29,7 333 3	508, 666 7	106, 6667					22	49	494	108	18,6	76	241 3,33 3	194					
II	21,0 5	40	629, 5	130, 5	22	67	253 0	203					11,9	123	184 1,5	298, 5	14,3	217, 5	200 6,5	406, 5	17,1	59	834	148	8,92 5	72,7 5	167 6,5	199, 5	13,3 6	75,8	850, 2	157, 6	
II	24,3 333 3	46,3 333 3	708	131									19,2 333 3	63,6 666 7	187 2,33 3	272, 6667					32,5 714 3	78,5 714 3	182 8	261, 4286	4,9	53	667	138					
III	26	83	848, 5	165									11,1 666 7	148	176 8,66 7	331, 3333	21,5	108, 5	529	116	20,3 333 3	50,3 333 3	133 9	229, 6667	3,5	151	801	130	24	46,5	668	112	
I	20	66	875	147	17	87,5	361 4	253					20	27	577	115	30	214	606 7	502, 5	30	37	586	116	30	102	282 5	346					
II	40,5	97,2 5	372 6	284, 25	36,0 5	70,7 5	266 0,75	286, 75	34	117, 333 3	250 9,33 3	285, 3333	17,4 875	99,1 25	278 4	296	11	33	566	143	20,5 75	82,6 25	206 3,37 5	232, 625	27	60	455	112					
III	21,1	60	703	137, 25	20,4	75,3 333 3	308 6,33 3	254, 6667	8,8	60	414	141	19,0 666 7	113, 666 7	248 5,66 7	284, 8889	29,3 25	113, 25	378 1,25	326, 75	36,7	92,5	722 3,87 5	423, 75	41,7 5	77	119 6	168					
I	13,5	54	715, 4	134, 4	67,6 5	84,5	179 4	248	24,9 857 1	165	587 5,71 4	463, 5714	22,8 5	89,3 75	212 1,37 5	241, 5	55,4 285 7	451, 714 3	149 52	934, 1429	24,5	95,1 666 7	237 5,16 7	247	27,7 5	138, 375	291 1,62 5	339, 5	14,4 2	115	159 1,8	257, 4	
II	13,9 5	140, 625	249 2,87 5	311, 25	23	102, 5	243 8,5	261					28	72	399 3	371	47	304, 285 7	125 44,8 6	732	33,7	154, 9	107 17,1	393	30,8 333 3	82,5	179 6	208, 5	9,55	182, 5	193 7,5	296	

I	67	103,333 3	124,88,3 3	459,6667 7	37,1666 7	297,333 3	132,65,3 3	726	22,6	263,4	704,4,6	638	18,2,333 3	504	935,6	1018,667	88,3,333 3	95,6,666 7	365,4,66 7	399,5	29,6,25	123,25	485,3,75	357	21,9,714 3	144,428 6	357,3	333	34	123,571 4	351,8,42 9	309		
II	59,3 75	79,3 75	815,2	412,25	32	54	220,1	226	28,3,285 7	159	429,7,57 1	375,5714	20,0,666 7	53,5	143,0,66 7	181	36,8,857 1	110,571 4	261,1,42 9	286,8571	32,1,666 7	224,166 7	125,88	600,6667					28,5	63	196,9,5	203,5		
III	23,1	45,8	134,7,5	183,5	44,5,714 3	114,142 9	498,2,71 4	322,8571	37,2	71,2	166,4,6	188,4	24,8,285 7	67,8,571 4	276	256,1429	21,4,5	104	243,4	255	55	249,833 3	212,67,5	807,5	34,7,6	46,1,9	206,5,4	192,1	24,0,833 3	39,9	124,2,5	141,7667		
II	19	84,5	154,6,5	191																	25	74	122,6	212	23,6,5	102,75	167,3	266,25						
III	15,1	80,3,333 3	191,4	231,3333					12,4	168	234,3	431					14,0,333 3	101,666 7	249,6,66 7	257	12,4	74	132,2	203										
II	11	39	572	140													13,5	170,5	438,4,5	423	18,1,333 3	52,6,666 7	651	142,3333	21,1,5	68	120,0,5	182,75	26	74	106,3	171		
III	26	52	111,9	159									14,8	68	100,0	158							12,2	58	131,6	192								
I	12,6 25	37,7 5	106,1,5	162	15,7,5	75,2,5	188,5,75	223,5	98	114	142,3	200	52,1,2	94,6	534,1,6	318,4							13,8,166 7	38,3,333 3	899,666 7	138,5								
II	15,4,666 7	50,6,666 7	104,9,33 3	151,3333	19,7	75,2,5	179,8	204,75	29,0,25	110	430,3,75	339,75	21,9,6	71,4	194,8,6	225	15,4	59	121,2	161	21,9	72	236,9,5	241,5	24	197	542	117	13,7,75	97	107,1,25	357		
III	19,4,2	58,2	629,4	119,8	24,6,4	68,4	150,8,8	194,4	40,7,5	166,125	501,6,12 5	450,625	30,7	78,6,666 7	195,3,5	223,3333							17,1,111 1	72,2,222 2	143,1,55 6	186,8889	17,5,2	58,2	920	147,6				
I	16	45,5	689	122,5																			20,3,333 3	66,3,333 3	653,333 3	149	15,4	65	807	174				
II	18,7,166 7	106,833 3	254,7,66 7	311,5	22,0,5	96,5	129,0,5	261	22	110	472,4	586																						
I	16	17	239	167	21	78	100,3	171					17,4,5	80	140,1,75	283,5							20,2,333 3	65,6,666 7	732,666 7	133,6667	11,4,5	63,2,5	907,5	176,25				
II	43,4	102	233,6	222	33	66	150,3	187	37,2,5	155,75	108,40,7 5	691,75	17,3,555 6	129,555 6	282,0,11 1	346,3333							26,1,375	91,1,25	246,8	265,75	12,2	100	750	189				
III	91,8,333 3	103	580,4,5	318,1667	29	69	169,4	191					45,6,25	139,125	469,9,75	355,25							21,0,2	95	295,7	312,7	19,3,5	83	121,2	187,5	18,4,5	83,5	176,2	255
I	10	32	103,7	151,5	21,6,5	68,5	116,5,5	185,5	19,8	155,5	231,9	366	15,6,666 7	79,6,666 7	212,2,33 3	261	22,3,5	179,5	257,9,5	349	21,5	121,666 7	216,1	275,3333	19,5	81	506	111						
III	17,1	64,2	930,	173,					15,7	134,	527	431,	24	40,3	718,	136,	18,9	54,3	136	206	59	149,	147	750,	18,5	50,6	191	208,	28,5	35,5	547	113		

	75	5	75	75					4	4	0,6	2		333	666	3333		333	8,66			5	00,6	8333		666	2,83	5							
I	14,4	50,8	670,	126,	67,6	84,5	179	248	24,9	165	587	463,	22,8	89,3	212	241,	55,4	451,	149	934,	24,5	95,1	237	247	27,7	138,	291	339,	14,4	115	159	257,			
	333	333	333	8333	5		4		857		5,71	5714	5	75	1,37	5	285	714	52	1429		666	5,16		5	375	1,62	5	2		1,8	4			
	3	3	3						1		4				5		7	3			7	7			5		5								
II	13,9	140,	249	311,	23	102,	243	261					28	72	399	371	47	304,	125	732	33,7	154,	107	393	30,8	82,5	179	208,	9,55	182,	193	296			
	5	625	2,87	25		5	8,5								3			285	44,8			9	17,1		333	6	5		5	7,5					
			5															7	6						3										
I	67	103,	124	459,	37,1	297,	132	726	22,6	263,	704	638	18,2	504	935	1018	88,3	95,6	365	399,	29,6	123,	485	357	21,9	144,	357	333	34	123,	351	309			
		333	88,3	6667	666	333	65,3			4	4,6		333		6	,667	333	666	4,66	5	25	25			714	428	3		571	8,42					
		3	3		7	3	3						3				3	7	7	5	25	25			3	6			4	9					
II	59,3	79,3	815	412,	32	54	220	226	28,3	159	429	375,	20,0	53,5	143	181	36,8	110,	261	286,	32,1	224,	125	600,					28,5	63	196	203,			
	75	75	2	25			1		285		7,57	5714	666	0,66	7		857	571	1,42	8571	666	166	88	6667					9,5	5					
									7		1		7		7		1	4	9		7	7													
III	23,1	45,8	134	183,	44,5	114,	498	322,	37,2	71,2	166	188,	24,8	67,8	276	256,	21,4	104	243	255	55	249,	212	807,	34,7	46,1	206	192,	24,0	39,9	124	141,			
			7,5	5	714	142	2,71	8571			4,6	4		285	571	7	5		4	4		833	67,5	5	6	9	5,4	1	833	2,5	7667				
					3	9	4						7	4								3													
II	20	26	458,	93,3					24	99,6	928,	173,	11	47	846	135						24	58,5	994	183,										
			333	3333						666	666	6667												5											
			3							7	7																								
III	14	57	198	191													42,5	48	564	124	23	23	214	77	18,7	72,5	696,	158,	17	58,5	635,	118			
			0																								5	5							
I	23,9	41,3	156	183													9,85	98,5	144	261,					12,2	35	628	122	18,4	93,7	175	214,			
	333	333	7,33															8	5																
	3	3	3																																
II	37	57	143	174	26	84	179	300,									12,2	90	607	183									19,9	126,	207	258			
			8				8,66	3333																					333	333	8				
							7																						3	3					
III	35	143	521	342	21,2	110,	245	240,														45,5	70,5	224	253,	16,6	124	211	261	29,6	69,6	146	175,		
			8		5	75	7	5															7,5	5	5			5		666	666	4,66	3333		
																													7	7	7				
I	16,5	28	384	91,6	26	109,	209	246,					18,3	75,5	634,	149	7,3	68	112	217	5	7	116	59	27,3	59,5	961,	160	17,9	81,3	192	232,			
				6667		25	5,75	5					5		5				5								5			75	6,12	375			
II	18,0	30,6	311,	91,6	32,8	110,	341	308,	23,9	173,	580	478,	19,2	119,	215	262,	14,6	80	732	203		33,6	155,	422	327,	7	29	348	125	16,4	49,3	899,	149,		
	333	666	666	6667		9	8,8	6	7	7	7,3	8	5	4	3,3	2						666	666	7,33	6667					333	333	666	8333		
			7																			7	7	3						3	3	7			
I	7,4	32,5	277	79					23,5	167	455	396	15,1	111,	169	282	96,3	407	155	943	24,5	95,1	237	247	27,7	138,	291	339,	14,4	115	159				
											1		5	5	8,5				66,9				666	5,16		5	375	1,62	5	2		1,8			
																							7	7											
II	15,3	110,	173	245,	39,2	199,	799	510,	34,6	241,	106	708,	26,5	83,9	609	252,	43	188,	807	473,	33,7	154,	107	393	30,8	82,5	179	208,	9,55	182,	193				
	625	25	0,25	5		1	7,4	7	9	1	78,1	8	5		4,7	2		666	6,66	7778		9	17,1		333	6	5		5	7,5					
																		7	7							3									
III	51,4	165,	862	455,	42,5	326	186	918,	53,5	266,	179	990	27	78,2	212	232	17,9	80,3	243	219,	25,6	114,	390	370,	11,6	286	552	628	17,7	100,	186				
	4	1	8,7	2		07	5	5		5	85			5	1,5		666	333	8	6667	125	125	1,5	25	666	8,66			25	3,25					
																	7	3							7	7		7							
I	67	103,	124	459,	37,1	297,	132	726	22,6	263,	704	638	18,2	504	935	1018	88,3	95,6	365	399,	29,6	123,	485	357	21,9	144,	357	333	34	123,	351	309			

		333 3	88,3 3	6667	666 7	333 3	65,3 3			4	4,6		333 3		6	,667	333 3	666 7	4,66 7	5	25	25	3,75		714 3	428 6	3				571 4	8,42 9		
II	59,3 75	79,3 75	815 2	412, 25	32	54	220 1	226	28,3 285 7	159	429 7,57 1	375, 5714	20,0 666 7	53,5 0,66 7	143	181	36,8 857 1	110, 571 4	261 1,42 9	286, 8571	32,1 666 7	224, 166 7	125 88	600, 6667					28,5	63	196 9,5	203, 5		
III	23,1	45,8	134 7,5	183, 5	44,5 714 3	114, 142 9	498 2,71 4	322, 8571	37,2	71,2	166 4,6	188, 4	24,8 285 7	67,8 571 4	276	256, 1429	21,4 5	104	243 4	255	55	249, 833 3	212 67,5	807, 5	34,7 6	46,1 9	206 5,4	192, 1	24,0 833 3	39,9	124 2,5	141, 7667		
II	22	39	393	99												15,6	105	121 8	227										31,7 5	59,2 5	181 7,25	219, 75		
III	17,5 5	40,5	321, 5	85,5																		27	39	351	98	24,7 333 3	61,6 666 7	683	147, 6667	25,5	48,5	134 4,5	213	
I	18,7 8	126, 8	247 5,6	308, 8					17,4	115	419 7,2	435, 2	19,1 4	88,4	144 6	229, 4																		
II	21	56	583	129					25,5	91,5	191 2,5	258, 5	32,2 75	176, 409	422, 75																			
III	21,5	55,5	581, 5	127					29	144, 5	407 5,75	383	10	181	473 9	553																		
I	15,7 5	41,5	164 2,5	179					20,3	184, 7	304 7,7	347, 6	27,6	142	552 2,3	427, 5	9,9	68	133 4	204	24	89,8	174 0	220, 2					10	43	144 7	179		
I	19,8	83,4 2	209 9,6	249	30	96	357 1,6	756, 2	19,4	194, 666 7	282 6,66 7	421, 3333	25	152, 666 7	458 7,83 3	540, 6667	17,4	64	747	166	30,8	163	453 2,8	447, 6	26,4	57	122 6	165						
II	19,5	63,5	736, 5	141	15,6 333 3	64,8 333 3	306 3,66 7	265, 1667	40,6 6	243, 8	588 3,8	696, 8	18,5 857 1	130, 571 4	287 0,57 1	406, 4286					20,3 333 3	170	372 2,66 7	410, 6667	17,3	68	159 3	208						
I	7,4	32,5	277	79	24	87	151 4	443	23,5	167	455 1	396	15,1 5	111, 5	169 8,5	282	96,3	407	155 66,9	943	24,5	95,1 666 7	237 5,16 7	247	27,7 5	138, 375	291 1,62 5	339, 5	14,4 2	115	159 1,8	301		
II	15,3 625	110, 25	173 0,25	245, 5	39,2	199, 1	799 7,4	510, 7	34,6 9	241, 1	106 78,1	708, 8	26,5 5	83,9	609 4,7	252, 2	43	188, 666 7	807 6,66 7	473, 7778	33,7	154, 9	107 17,1	393	30,8 333 3	82,5	179 6	208, 5	9,55	182, 5	193 7,5			
III	51,4 4	165, 1	862 8,7	455, 2	42,5	326	186 07	918, 5	53,5	266, 5	179 85	990	27	78,2 5	212 1,5	232	17,9 666 7	80,3 333 3	243 8	219, 6667	25,6 125	114, 125	390 1,5	370, 25	11,6 666 7	286	552 8,66 7	628	17,7	100, 25	186 3,25			
I	67	103, 333 3	124 88,3 3	459, 6667	37,1 666 7	297, 333 3	132 65,3 3	726	22,6	263, 4	704 4,6	638	18,2 333 3	504	935 6	1018 ,667	88,3 333 3	95,6 666 7	365 4,66 7	399, 5	29,6 25	123, 25	485 3,75	357	21,9 714 3	144, 428 6	357 3	333	34	123, 571 4	351 8,42 9	309		
II	59,3 75	79,3 75	815 2	412, 25	32	54	220 1	226	28,3 285 7	159	429 7,57 1	375, 5714	20,0 666 7	53,5 0,66 7	143	181	36,8 857 1	110, 571 4	261 1,42 9	286, 8571	32,1 666 7	224, 166 7	125 88	600, 6667					28,5	63	196 9,5	203, 5		
III	23,1	45,8	134 7,5	183, 5	44,5 714 3	114, 142 9	498 2,71 4	322, 8571	37,2	71,2	166 4,6	188, 4	24,8 285 7	67,8 571 4	276	256, 1429	21,4 5	104	243 4	255	55	249, 833 3	212 67,5	807, 5	34,7 6	46,1 9	206 5,4	192, 1	24,0 833 3	39,9	124 2,5	141, 7667		
I	23	110, 333	172 7,33	246, 6667	35	76,2 5	215 0,75	230, 5																					19,5	82	257 2	313		

I	7,4	32,5	277	79					23,5	167	455	396	15,1	111,	169	282	96,3	407	155	943	24,5	95,1	237	247	27,7	138,	291	339,	14,4	115	159			
											1		5	5	8,5				66,9			666	5,16		5	375	1,62	5	2		1,8			
II	15,3	110,	173	245,	39,2	199,	799	510,	34,6	241,	106	708,	26,5	83,9	609	252,	43	188,	807	473,	33,7	154,	107	393	30,8	82,5	179	208,	9,55	182,	193			
	625	25	0,25	5		1	7,4	7	9	1	78,1	8	5		4,7	2		666	6,66	7778		9	17,1		333		6	5	5	5	7,5			
III	51,4	165,	862	455,	42,5	326	186	918,	53,5	266,	179	990	27	78,2	212	232	17,9	80,3	243	219,	25,6	114,	390	370,	11,6	286	552	628	17,7	100,	186			
	4	1	8,7	2		07		5		5	85			5	1,5		666	333	8	6667	125	125	1,5	25	666	8,66			25	3,25				
I	67	103,	124	459,	37,1	297,	132	726	22,6	263,	704	638	18,2	504	935	1018	88,3	95,6	365	399,	29,6	123,	485	357	21,9	144,	357	333	34	123,	351	309		
		333	88,3	6667	666	333	65,3			4	4,6		333		6	,667	333	666	4,66	5	25	25	3,75		714	428	3		4	571	8,42			
II	59,3	79,3	815	412,	32	54	220	226	28,3	159	429	375,	20,0	53,5	143	181	36,8	110,	261	286,	32,1	224,	125	600,					28,5	63	196	203,		
	75	75	2	25		1			285		7,57	5714	666		7		857	571	1,42	8571	666	166	88	6667					9,5	5				
III	23,1	45,8	134	183,	44,5	114,	498	322,	37,2	71,2	166	188,	24,8	67,8	276	256,	21,4	104	243	255	55	249,	212	807,	34,7	46,1	206	192,	24,0	39,9	124	141,		
			7,5	5	714	142	2,71	8571			4,6	4	285	571	7	1429	5		4			3	67,5	5	6	9	5,4	1	833	2,5	7667			
III	18,8	87,6	138	231									18,7	47	853	149,						25,4	106,	218	267,									
		666	5										5			25						5	125	7,5	5									
I	20,6	96,2	546	389	31	129	115	247,					23,7	80,4	252	227,	12	54	393	129		30,3	203	434	473,				21	22	188	63		
			3,8				2,5	5					6		9,6	4						333	3	5,33	3333									
II	34,3	67,6	112	132	45	243	150	853					28,8	76	182	244,	15,3	108,	145	226,	40	93	245	235										
	333	666	6,66				48						8,6		2	2	5	5	7	5			8,33											
III	30	60,5	964,	151,																														
		5	5																															
I	24,4	78,4	209	251,													18,9	171,	212	349,	19,2	84	131	178					13,7	100,	141	782		
			0,8	8													666	833	5,16	6667	5		3,5					3	333	333	3			
II	27	54	268	105													19,5	152,	172	314,						14,7	80,8	999,	189,					
																	5	5	2,5	5						714	571	857	2857					
III	26	51	595	141					34	93	726	214	21	128	267	333						19,6	51	588	122	33,5	53	104	154,	21	131	263	326	
															9,5							5					6,5	5	5	5	5	5	1	
I	7,1	107	105	198									13,4	187,	145	403,	16	79,4	146	236,	16	32,5	269,	77,5	21,8	90	170	225	17,5	95,6	151	224,		
			4										666	666	1,33	6667			1,5	5		5	5	333	6,66		6,66		666	666	1,66	1667		
II	35,4	91,6	155	211,	17,8	58,2	106	246	9	124	112	215					16,5	116	188	296,	22	63,6	106	146,	18,5	69,5	692	124,	17,2	135	324	343		
			7	6		5	7			5							25		0,75	5			3	6		5	5	7	7	7	7	7		
III	17,3	48	685	122	31	67	854	159					23,7	111,	213	315,	12	138	128	293	17	60	117	169	17,1	133	169	225						
													75	5	0,5	75			5				2		5		0,5							
I	7,4	32,5	277	79					23,5	167	455	396	15,1	111,	169	282	96,3	407	155	943	24,5	95,1	237	247	27,7	138,	291	339,	14,4	115	159			
											1		5	5	8,5				66,9				666	5,16		5	375	1,62	5	2		1,8		

