

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

КВАРАЦХЕЛИЯ Екатерина Вадимовна

Выпускная квалификационная работа

***Анализ распределения стамух в Обской губе по данным дистанционного
зондирования.***

Бакалавриат

05.00.00 Институт наук о Земле

05.03.03.Картография и геоинформатика

Научный руководитель:

доцент,

Кафедра картографии и геоинформатики,

кандидат технических наук

Сергей Вячеславович Тюрин

Рецензент:

Заместитель начальника ЦЛГМИ,

Арктический и антарктический

научно-исследовательский институт

Соколова Юлия Вадимовна

Санкт-Петербург

2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. Опасные ледяные образования: стамухи.....	5
1.1. Определение, природа и условия образования.....	5
1.2. Стамухи в Карском море и Обской губе.....	7
1.3. Методы мониторинга стамух в Арктике.....	9
Глава 2. Работа с исходными данными.	13
2.1. Описание исходных данных.	13
2.1.1. Данные ДЗЗ.	13
2.1.2. Батиметрические данные.	16
2.1.3. Карты распределения стамух в Арктике.....	17
2.2. Дешифровочные признаки стамух.	23
2.2.1. Дешифрирование стамух.	23
2.2.2. Структурирование данных наблюдений.....	25
Глава 3. Распределение стамух в Обской губе по данным ДЗЗ за период 2019 – 2022 гг.	27
3.1. Описание методики дешифрирования стамух.....	27
3.2. Анализ распределения стамух в Обской губе за период 2019 – 2022 гг.....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	32
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	33

ВВЕДЕНИЕ

Ледяной покров арктических морей представляет собой конгломерат льда разных возрастов, размеров и форм, наблюдения за которыми велись десятилетиями. До 1990-х годов главной целью наблюдения за льдом и ледяным щитом было регулярное предоставление судам арктических морей реальной и предсказываемой навигационной информации.

Большое практическое значение имели воздушные наблюдения за положением стамух. Стамухи на мелководье арктических морей представляют серьезную угрозу для судоходства в условиях плохой видимости. Поэтому координаты крупных стамух сообщались мореплавателям. В некоторых случаях на глубине 10-15 метров образовывались массивные цепочки стамух, препятствующие приближению льда к берегам, что мешало использованию прибрежной зоны для судоходства.

В 1990-х годах грузовые перевозки по Северному морскому пути резко сократились. В то же время регулярная ледовая авиаразведка была также прекращена. Информация о льдах поступала в основном от искусственных спутников Земли (ИСЗ). Тем не менее, потребность в дополнительных исследованиях ледяного покрова арктических морей не только сохраняется, но и наступает новый этап. В эти годы активизировались работы по проектированию и эксплуатации нефтегазовых месторождений на Западном арктическом шельфе. В связи с этим исследования приняли новое направление.

Подробные данные о естественном состоянии месторождений были собраны в результате сложных ежегодных морских экспедиций. В экспедициях участвовали специалисты разных профилей из разных организаций. Из полученной информации наиболее важной была информация о льде, представляющем значительный риск для гидротехнических сооружений.

Список исследовательских работ с каждым годом увеличивается, закупается новое оборудование и приборы. Впервые в российской Арктике был использован гидролокатор нижней поверхности льда, нижние гидролокаторы использовались для наблюдения за нижней топографией льда. Возобновились визуальное обследование и фотосъемка нижней части торосистых образований, которые ранее проводили исследования в арктических бассейнах на станциях “Северный полюс”. Аэрофотосъемка ледяного покрова стала обычным определением прогнозируемых

высотных параметров торосистых образований. Проводятся регулярные наблюдения за местоположением, размером и дрейфом айсбергов (Г. К. Зубакин, 2006).

Таким образом, целью работы является дополнить существующие знания о распределении и характеристиках стамух, полученные по данным аэрофотосъемки (за период до 90х гг.), с помощью данных космической съемки на территории Обской губы.

Для реализации поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- Провести дешифрирование снимков, распознать стамухи на изучаемой территории;
- Сформировать “паспорта” стамух и внести сведения о стамухах в базу данных;
- Актуализировать карты распределения стамух в Обской губе, сравнить с картами распределения, полученными по данным аэрофотосъемки;
- Описать характерные особенности стамух, времени их образования и становления

Глава 1. Опасные ледяные образования: стамухи.

1.1. Определение, природа и условия образования.

Стамухи — ледяное торосистое образование, сидящее на грунте или на мели (Гляциологический словарь, 1984). Широко распространены в мелководных районах арктических морей России. Обычно стамухи образуются на глубине не более 30-50 м из остатков тороса в береговом припае, из несяков (большой торос или группа смерзшихся торосов), образующих отдельную льдину, находящуюся на плаву (Гляциологический словарь, 1984) и торосистых льдов, севших на дно. Нередко стамухи, смерзаясь с грунтом, образуют на дне сезонномерзлый слой (<https://rus.arcticcoast.ru/atlas/>). На рисунке 1 представлена схема формирования стамух (В.Г.Смирнов, 2020).

Стамухи можно классифицировать по времени, месту их формирования, по виду льда, из которого они образовались. По времени образования стамух выделяют осенние и зимние:

- Стамухи осеннего происхождения формируются из ниласа и серого льда толщиной 5-15 см, их размеры обычно не превышают 100 м. После того, как прочный припай образовался, такие стамухи не меняют свой вид и не увеличиваются в размере до весеннего взлома льда.
- Зимние стамухи “вырастают” значительно больше осенних, их размеры могут превышать 1 км. Формируются зимние стамухи из льда, значительно толще осеннего, ледяной покров к моменту их формирования уже достигает стадии серо-белого и тонкого белого льда.

Также формирование стамух можно разделить на следующие фазы:

- Первая фаза формирования стамух связана со становлением припая на глубинах до 3-х метров, при этом толщина льда не более 15 см;
- Вторая фаза на глубине около 5-6 м, при толщине льда до 25-35 см;
- Третья фаза наступает в конце осени-начале зимы, когда становление припая происходит на 10-15 м, стамухи образуются на глубине 12-13 м, а толщина льда составляет 30-70 см;
- Четвертая фаза: при границе припая на изобатах 20-25 м при средней глубине моря 22,5 м, толщина льда составляет до 70-120 см (В.Г.Смирнов, 2020)

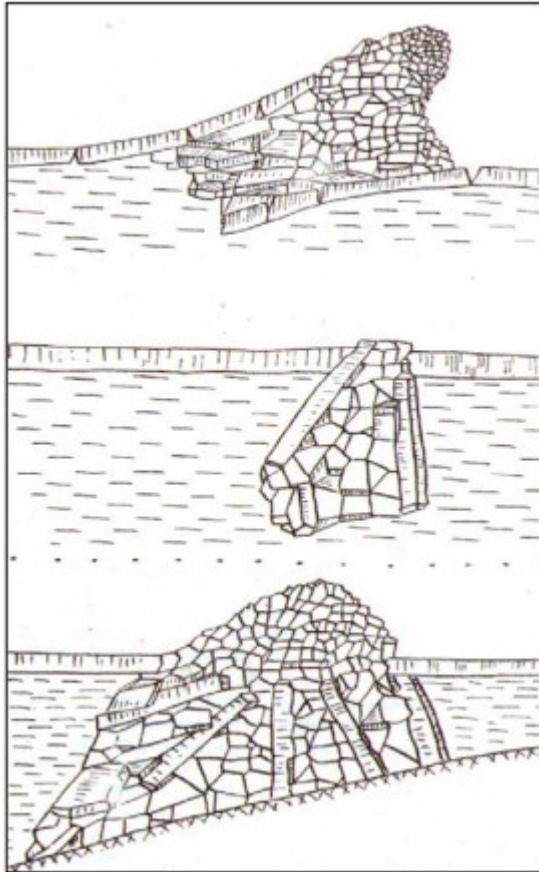


Рисунок 1. Схематическое представление механизма формирования стамух или подводных плотин из набивного льда.

Механическое воздействие стамух на дно происходит от начала их формирования до полного очищения акватории ото льда. После того как молодые льды смерзаются с дном в приурезовой зоне этот лед служит в качестве своеобразного защитного буфера, интенсивность воздействия на дно слабая. Вмерзшие стамухи принимают на себя силы сжатия.

Более интенсивные воздействия происходят на зимней кромке припая, здесь весь холодный период формируются гряды, барьеры торосов, ледяные плотины, севшие на дно. Но максимально интенсивное воздействие на дно происходит в зонах дрейфующих льдов. При дрейфе многокилевых торосистых образований или стамух на дне образуются параллельные гряды борозд. В ряде случаев крупные стамухи “салятся” на грунт и вращаются под действием течений, тем самым образуют на дне воронки ледового выпаживания (Рисунок 2).

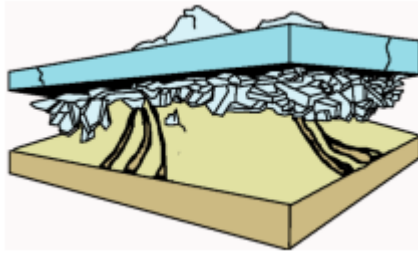


Рисунок 2. Воздействие стамухи на дно.

1.2. Стамухи в Карском море и Обской губе.

Ледообразование в Карском море начинается с северной части за 80° с.ш. в начале сентября. Вначале замерзают остаточные льды, после чего замерзание распространяется в сторону чистой воды. Наиболее позднее замерзание наблюдается в области залива баренцевоморских вод. При средних условиях ледообразование длится около 75 суток: 5 сентября - 18 ноября. При позднем замерзании оно продолжается 95 суток: 20 сентября - 24 декабря, а при раннем замерзании: 20 августа - 15 октября (56 суток). Перемещение изохрон ледообразования направлено с северо-востока на юго-запад (Рисунок 3).

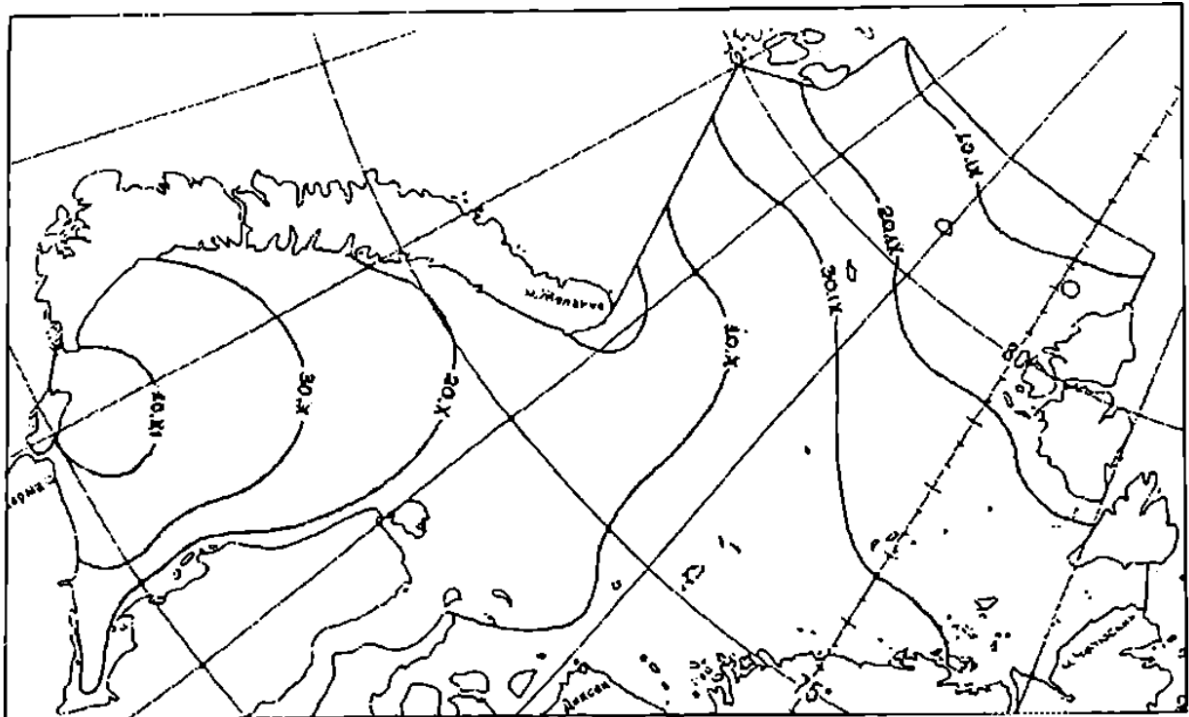


Рисунок 3. Среднегодовое положение изохрон устойчивого ледообразования в Карском море.

Таяние ледяного покрова начинается в первой половине июня, за июнь ледовитость уменьшается до 90%, после чего в среднем на 7% за декаду, что соответствует периоду наибольшего разнообразия ледовых условий в Карском море. В среднем для периода конец июня - конец сентября чистая вода занимает 44 % площади акватории, сплоченные льды — 42 %, а редкие и разреженные льды - только 14 %

В Карском море имеют место быть стамухи как из местных льдов, так и из принесенных, развиваются на глубинах до 28 м. Чаще всего стамухи встречаются в Обь-Енисейском районе и у западного побережья острова Ямал. Реже наблюдаются в Байдарацкой, Обской и Тазовской губах, в Гыданском и Енисейском заливах. Стамухи практически не наблюдаются у восточных берегов Новой Земли. У материков северо-восточной части Карского моря стамухи также отмечаются редко. Обычно в открытом море они образуются на банках или у многочисленных островов. На рисунке 4 изображены места локализации стамух в Карском море. В северо-восточной части моря кили стамух могут достигать 28 м при высоте паруса до 15 м, но обычно, в 75-92% случаев, их осадка не превышает 16м.

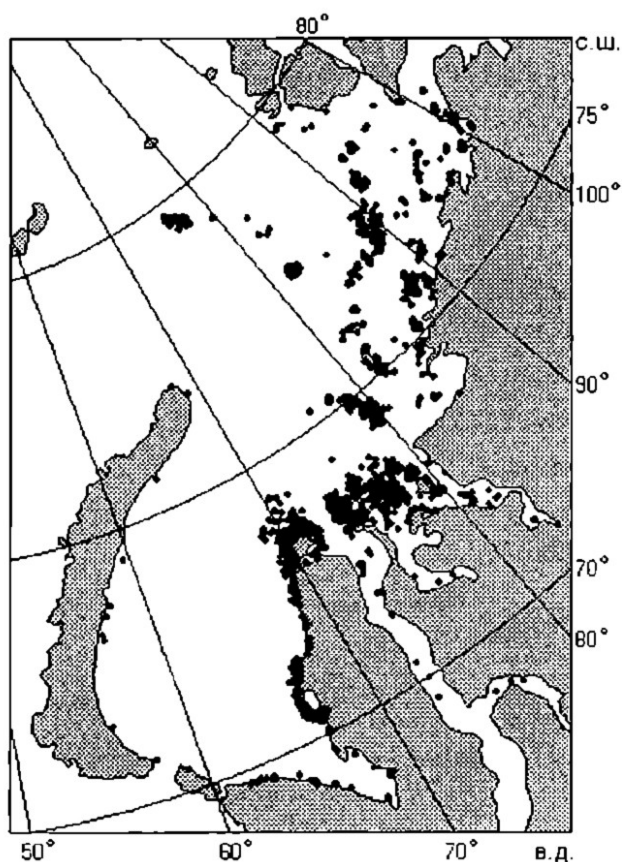


Рисунок 4. Положение стамух в Карском море, 1972—1991 гг. (Г. К. Зубакин, 2006)

Подробнее о стамухах в Обь-Енисейском районе Карского моря будет написано в разделе 2.1.3. Карты распределения стамух в Арктике.

1.3. Методы мониторинга стамух в Арктике.

Можно выделить основные направления исследований ледяного покрова морей Российской Арктики:

- Мониторинг состояния ледяного покрова;
- Сбор, каталогизация и ведение электронного архива ледовых карт, тематических продуктов на основе данных искусственных спутников Земли (ИСЗ);
- Экспериментальные исследования физических процессов в ледяном покрове, математическое моделирование эволюции ледяного покрова;
- Исследование закономерностей формирования ледового режима Северного Ледовитого океана и арктических морей;
- Создание и совершенствование методов и технологий диагностики и прогноза ледовых условий на акваториях арктических морей;
- Изучение ледовых условий судоходства в полярных районах, разработка методов и технологий навигационных рекомендаций

На рисунке 5 представлена концептуальная схема исследования ледяного покрова.

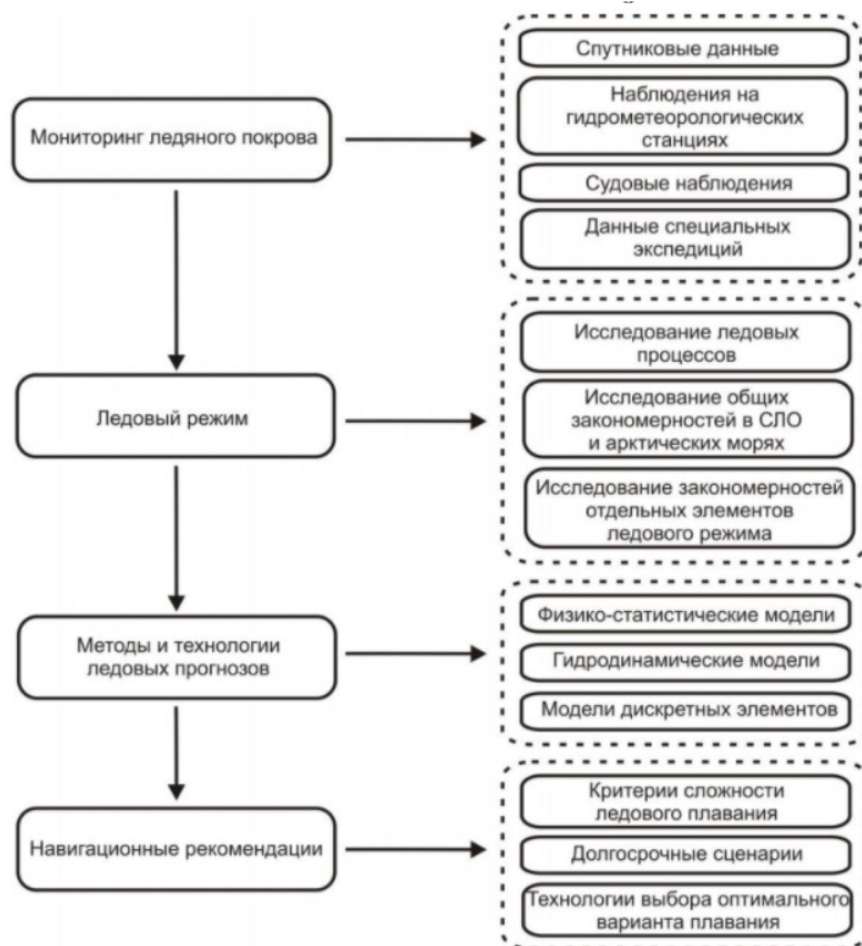


Рисунок 5. Концептуальная схема основных направлений исследования ледяного покрова.

Подробнее остановимся на мониторинге состояния ледяного покрова, так как к этому направлению можно отнести в частности и мониторинг стамух.

Спутниковые данные. Сейчас самый полный архив данных по льдам Арктики сформирован в рамках проекта Всемирной метеорологической организации (ВМО) «Глобальный банк цифровых данных по морскому льду» (ГБЦДМЛ), поддержку которого в ААНИИ осуществляет Мировой центр данных (МЦД) по морскому льду. Основой данных являются регулярные ледовые карты отдельных акваторий от национальных ледовых служб мира – России (в прошлом от СССР), Дании, Канады, США, покрывающие период инструментальных наблюдений с 1933 г. по настоящий момент времени с дискретностью от 7 суток до 1 месяца.

Что касается мониторинга стамух, то можно выделить *автоматический* и *ручной* режимы.

В исследовании А.Д. Тарасенко (А.Д.Тарасенко, 2022) была предпринята попытка выделения стамух с помощью автоматического метода расчета дрейфа (Selyuzhenok V., 2021). Стамухи выделяются на картах дрейфа как объекты неподвижные относительно остального ледяного покрова. Однако, несмотря на то что использовались снимки Sentinel-1 с пространственным разрешением 40 м с помощью данных методов не удалось выявить стамухи. Авторы предполагают, что причинами могли оказаться повсеместное развитие припая не подверженное смещению и небольшой размер стамух. Но стоит отметить, что исследования проводились в южной части Обской губы, где во время ледовой авиаразведки 1972-1991 гг. стамухи так же не были обнаружены. Тем не менее, автоматические методы расчета дрейфа и их модернизация, направленная на поиск стамух, требуют совершенствования.

В ручном же режиме стамухи выделяются последовательным наложением снимков ИСЗ на карту и поиску стамух по дешифровочным признакам, описанным в части 2.2.2.

Наблюдения на гидрометеорологических станциях и ледоисследовательские экспедиционные работы. На гидрометеорологических станциях измеряют толщину льда, торосистость, разрушенность льда и даты наступления осенних и весенних ледовых фаз. Достоинством таких наблюдений является их регулярность и продолжительность. В 1990-е годы большая часть станций были утрачены. В настоящее время они не восстанавливаются, а наблюдений не хватает.

Важным условием проведением ледовых исследований является возможность получения морфометрических характеристик ледяных образований (ЛО), физико-механических свойств льда и параметров динамики ледяных полей. На основе спутниковых методов эти характеристики получить невозможно, поэтому используют вертолет, ледокол или судно ледового класса, с которого высаживают бригады на лед для произведения измерений. Самым эффективным методом измерения вертикальных параметров и определения внутренней структуры ЛО является установка водяного термобурения льда с компьютерной записью скорости бурения, разработанная в ААНИИ.

Одним из главных методов получения данных о геометрических параметрах стамух и айсбергов является аэрофотосъемка (АФС), которая выполняется либо с вертолета, либо с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Данный метод с большой точностью позволяет строить трехмерные модели ЛО. Результатом таких

исследований является выделение особенностей пространственно-временной изменчивости морфометрических параметров гряд торосов, стамух и айсбергов.

Судовые наблюдения. В настоящее время судовые наблюдения производятся по двум направлениям: визуальные и инструментальные.

Визуальные наблюдения проводятся с мостика судна по всему маршруту следования и круглосуточно. Главным принципом наблюдения является выделение однородной ледовой зоны, характеристик ледяного покрова, эксплуатационных показателей движения судна в границах этой однородной зоны.

Инструментальные ледовые наблюдения основаны на судовом телевизионном комплексе (СТК), предназначенном для наблюдения за характеристиками ледяного покрова на пути плавания судов.

Глава 2. Работа с исходными данными.

2.1. Описание исходных данных.

2.1.1. Данные ДЗЗ.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) - получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние (А.А. Воробьева, 2012).

Выбор данных ДЗЗ определяется следующими параметрами:

- пространственное разрешение - величина, характеризующая размер наименьших объектов, различимых на изображении;
- радиометрическое разрешение - способность определяется количеством градаций значений цвета, соответствующих переходу от яркости абсолютно «черного» к абсолютно «белому», и выражается в количестве бит на пиксел изображения;
- временное разрешение определяется частотой получения снимков конкретной области;
- спектральное разрешение определяется характерными интервалами длин волн электромагнитного спектра, к которым чувствительный датчик;
- сезон съемки.

Любая современная система ДЗЗ предусматривает совместное функционирование двух сегментов: космического (орбитального) и наземного. Упрощенная схема системы ДЗЗ приведена на рисунке 6.

Орбитальный сегмент включает в себя собственно базовую платформу с установленной на ней целевой аппаратурой ДЗЗ и бортовые средства передачи информации на Землю по радиоканалу.

Наземный сегмент обеспечивает управление полетом космических спутников, регулирование режимов работы целевой аппаратуры и аппаратуры передачи данных, прием результатов ДЗЗ, их хранение, первичную и тематическую обработку, распространение и продажу продуктов различных уровней обработки, сбор заявок от потребителей.

Наземный сегмент включает в себя следующие структурные элементы:

- центр управления работой орбитального сегмента, объединяющий ряд специальных станций;
- распределенную сеть региональных и локальных приемных станций для сбора данных ДЗЗ;
- информационный центр:
 - центры обработки данных ДЗЗ;
 - централизованные и локальные архивы для хранения и учета данных;
 - службы, обеспечивающие распространение информационных продуктов и обслуживание потребителей.

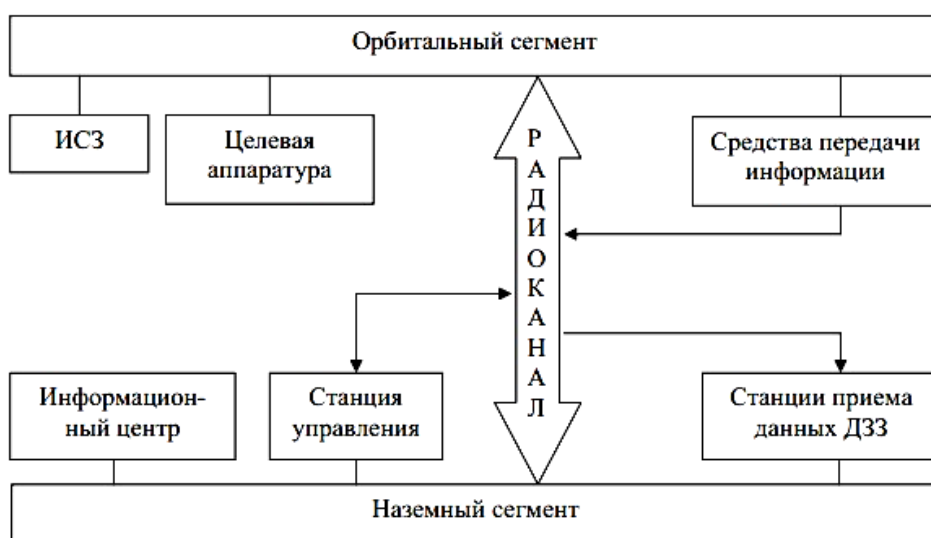


Рисунок 6. Структура системы дистанционного зондирования Земли.

В настоящее время использование радарных систем является неотъемлемой частью и главным инструментом ледового мониторинга. Главной задачей ДЗЗ является установление однозначных связей между получаемым сигналом от зондируемой поверхности и его действительными физическими параметрами (Д.М. Демчев, 2018).

Основными источниками информации в данном исследовании также стали радиолокационные снимки. В период полярной ночи дешифрирование снимков велось как по ним, так и по данным инфракрасного диапазона, в период, когда снимки видимого спектра были доступны, данные использовались совместно. Радиолокационное зондирование является одним из основных методов мониторинга ледяного покрова. Главное преимущество радарных систем - независимость от погодных и климатических условий, оптическая съемка такими свойствами не обладает. Наиболее актуально это для приполярных районов, из-за высокой облачности

и отсутствия солнечной радиации до 5-6 месяцев в году использовать оптическую съемку не всегда представляется возможным. На рисунке 7 представлена общая схема работы радарных систем ДЗЗ.

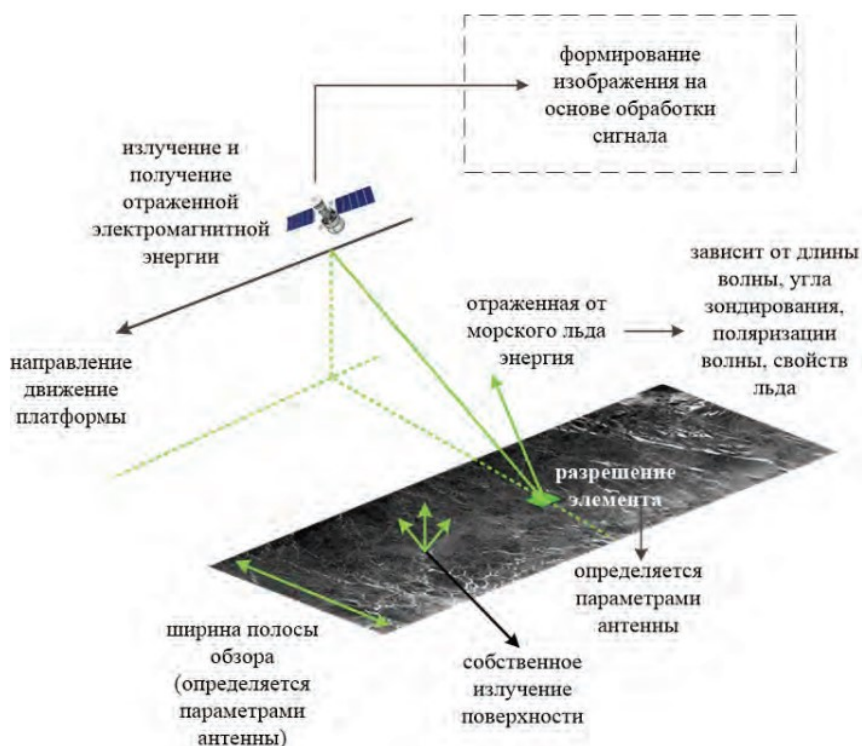


Рисунок 7. Общая схема работы радарных систем ДЗЗ. (Д.М. Демчев, 2018)

В исследовании использовались спутниковые снимки как видимого и инфракрасного диапазонов, так и радарные снимки. Исходные данные были получены из следующих источников:

- Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ) был предоставлен набор данных VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) за период с начала октября 2019 г. до марта 2020 г. Пространственное разрешение датчика в 1-диапазоне составляет 375 м в надире. Ширина полосы охвата VIIRS составляет 3000 км. Радиометр собирает данные в видимом и инфракрасном диапазонах.
- Данные Sentinel-1 выгружались с сайта <https://scihub.copernicus.eu>. Спутники Sentinel-1 - радиолокационные приборы с синтезированной апертурой С-диапазона. Ширина полосы охвата в режиме Extra-Wide Swath Mode собирает данные по полосе шириной 400 км с пространственным разрешением 20 м на 40

м. Данный режим предназначен в первую очередь для использования над морскими льдами и полярными зонами.

- Снимки Sentinel-2 (в надире пространственное разрешение составляет 10 м, ширина полосы охвата 290 км, имеет 13 спектральных каналов в видимой, ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной зонах спектра), Landsat-7 (характеризуются полосой захвата 185 км, наличием 8 спектральных каналов и разрешением панхроматического канала - 15 м) и Landsat-8 (ширина полосы охвата также как и у Landsat-7 составляет 185 км, 9 спектральных каналов с пространственным разрешением панхроматического канала 15 м) просматривались и анализировались на ресурсе <https://eos.com/landviewer>.

2.1.2. Батиметрические данные.

Немаловажным вспомогательным фактором дешифрирования стамух является глубина. На рисунке 8 приведена батиметрическая карта Обской губы, составленная по картам Карского моря и Обской губы масштабов 200 000 – 50 000. Рельеф практически всей Обской губы ограничен изобатами 15-20 метров, только в средней части губы и в устье глубина превышает 20 метров.

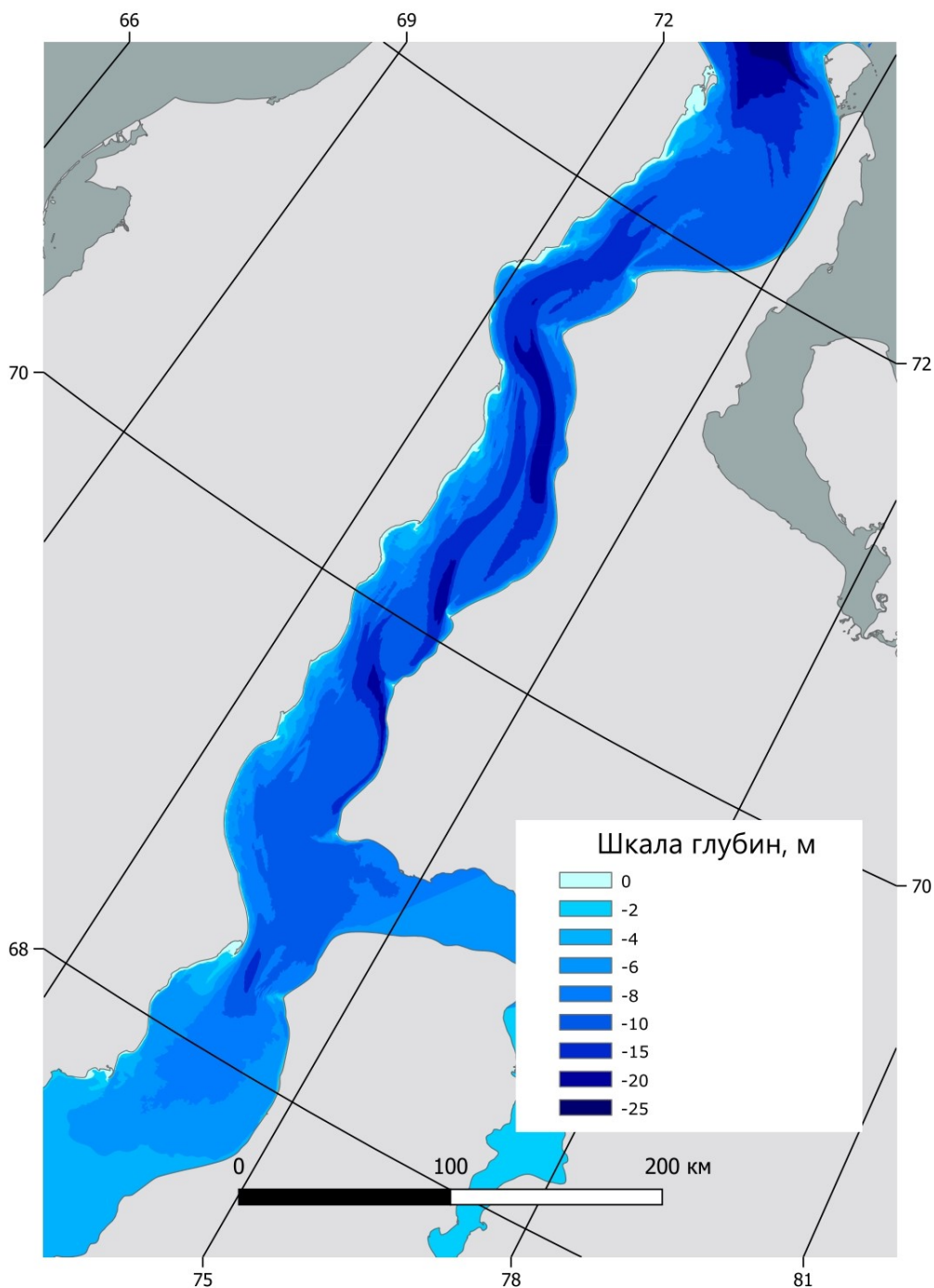


Рисунок 8. Батиметрическая карта Обской губы.

2.1.3. Карты распределения стамух в Арктике.

В Арктике стамухи распространены вдоль практически всей береговой линии от Печерского моря до Чукотского (Рисунок 9). В целом, зона распространения стамух совпадает с мелководной границей, где глубина не превышает 50 м.

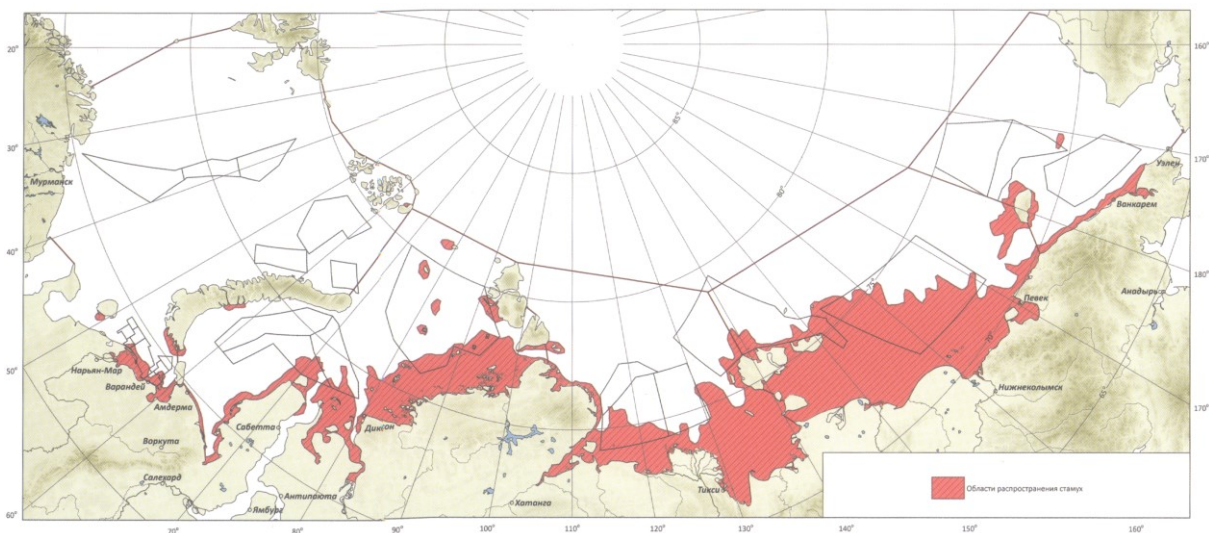


Рисунок 9. Распределение стамух в Арктике.

Стамухи Карского моря. Из-за сложного рельефа Карского моря выделение общей границы распространения стамух неоправданно. Правильнее выделять границы по более ограниченным районам побережий, отдельных островов или групп островов.

В Обь-Енисейском районе Карского моря стамухи образуются обычно в ноябре-декабре из местных льдов. Ко второй половине зимы больше половины стамух вмерзают в припай. В северной части мелководья, где глубины составляют 18-23 м стамухи оказываются в дрейфующих льдах на протяжении всей зимы.

На рисунке 10 показаны границы максимального распространения стамух и границы наибольшего распространения припая в конце зимы. На мелководье Обь-Енисейского района стамухи распространены практически повсеместно, за исключением Восточного пролива Енисейского залива и северной части Обской губы, где глубины превышают 20м.

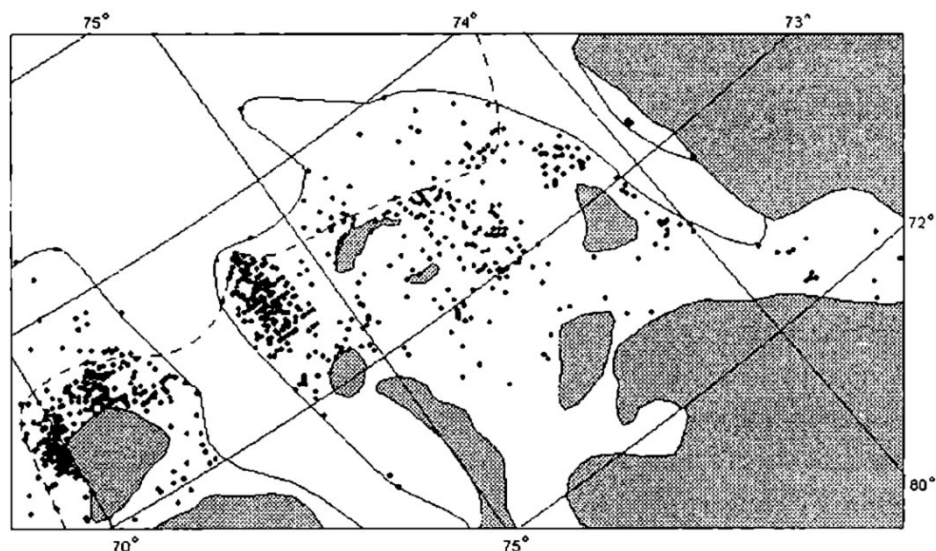


Рисунок 10. Положение стамух в Обь-Енисейском районе. 1 - граница максимального распространения стамух; 2 - граница наибольшего распространения припая в конце зимы

Обычно в Обь-Енисейском районе встречаются одиночные стамухи, реже группы стамух численностью 2-7 штук. Межгодовые изменения количества стамух достаточно велики, так, например, в 1974 г. наблюдалось максимальное количество стамух (115), в 1991 г. минимальное (5). После взлома припая стамухи обычно быстро разрушаются, а многолетние стамухи сохраняются очень редко (1973, 1974, 1987 гг.).

Обская губа остается покрытой льдами большую часть года. Формирование льда в южных областях губы начинается в конце октября - начале декабря, в средней части - с ноября до конца декабря, толщина льда также увеличивается с юга на север и достигает 2 м. В устье Обской губы ледяной покров обычно не бывает сплошным. Взлом ледяного покрова начинается, как правило, в мае с южной части губы, дельта начинает освобождаться ото льда в начале июня, а устье - в конце июля - начале августа.

Ледовые воздействия обычно происходят в периоды ледообразования и вскрытия акватории. В Обской губе около 50% дна подвержено процессам экзарации, максимальное их распространение происходит на глубинах от 5 до 10 м (Г. К. Зубакин, 2006).

Остров Свердруп. На рисунке 11 изображены граница максимального распространения стамух и их положение. Стамухи отмечались как в акватории, так и на банках Ириновская, Пахтусова и Малышка.

Обычно в районе острова стамухи образуются в конце октября - начале ноября, на мелководье у острова они в ноябре вмерзают в припай. Чаще всего встречаются одиночные стамухи или небольшие группы (2-3 штуки). Только 1974 г. севернее острова была отмечена группа из 12 стамух. Чаще стамухи образуются севернее или южнее от острова, но их распределение неравномерно.

На Ириновской банке наблюдалось большое количество стамух. Ежегодно они здесь отмечаются в количестве 1-8 штук. При формировании припая здесь образуется большое застамушенное поле, в январе-марте это поле смерзается с припаем у острова Свердруп, в мягкие зимы этого может не происходить. 85% стамух здесь формировалась на глубинах 8-20 м.

На банках Малышка и Пахтусова стамухи отмечаются крайне редко (на банке Малышка 4 случая за 20 лет).

Максимальное значение осадки стамух - 26 м, минимальное - 0,4 м, среднее значение у о. Свердруп - 12,9 м.

Взлом припая у о. Свердруп как правило происходит в июле и стамухи, вместе с освобождением акватории ото льда, тают.

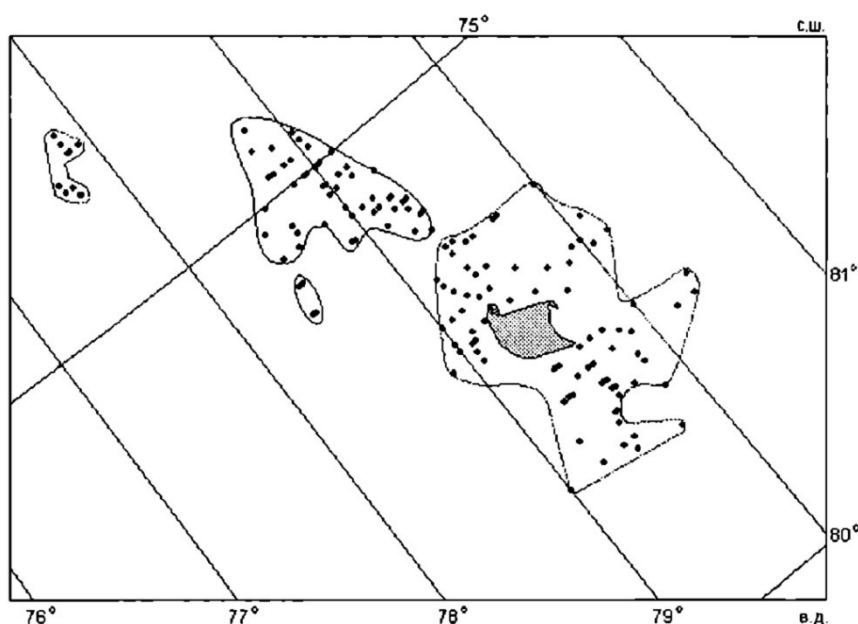


Рисунок 11. Положение стамух и границы их максимального распространения в районе о. Свердруп, 1972-1991 гг.

Район северо-восточной части Карского моря. В данный район входит акватория Карского моря от островов Западных Каменных и Арктического института на юго-западе до западных подходов к проливу Вилькицкого. Стамухи, образованные у островов и на банках, помогают образованию и длительному сохранению припая. Из серо-белых однолетних тонких льдов стамухи здесь образуются в октябре-ноябре, из однолетних толстых и двухлетних льдов - в августе-сентябре. В декабре большинство стамух вмерзает в припай. Стамухи здесь распределены очень неравномерно, что видно на рисунке 12. Наибольшее их распространение заметно у островов Арктического Института, на мелководье у островов Сергея Кирова и на банках к юго-западу от них, у о. Воронина и на банке к западу от него, у островов и на банках у западной границы шхер Минина, на банках Юкагир и Ермак. Между островами и банками в более глубоководных районах стамухи не наблюдаются.

Обычно здесь наблюдаются одиночные стамухи, либо численностью 2-4 штуки. Лишь дважды отмечались группы стамух. Например, в апреле 1987 г. в припае в 20 милях к юго-западу от острова Сложный (острова Сергея Кирова) была зафиксирована группа из 10 стамух, и в октябре 1974 г. наблюдалась группа из 30 стамух на банке в 15 милях к западу от острова Воронина на глубине около 12 м среди дрейфующих льдов.

Межгодовые колебания численности стамух значительны: наибольшее количество стамух (83) наблюдалось в 1984 г., наименьшее количество (5) было зафиксировано в 1979 г. Максимальное значение осадки стамух в данном районе составляет 28 м, минимальное 1,8 м, среднее - 12,3 м. Около 70% стамух фиксировалось на глубине 8-20 м.

Взлом припая здесь обычно происходит в конце июля, после чего большинство стамух быстро разрушаются, но отдельные сохраняются до начала формирования припая и вмерзают в него. Иногда в течение всего лета сохраняется полоса припая, где часто отмечалось наличие стамух. Так в 1980-1983 гг. Наблюдалась 4-х летняя стамуха у мыса Русский на глубине 10 м, в районе островов Сергея Кирова, на банках Брюзевица, Стамуха, Садко восточная отмечены 2-х летние стамухи.

В северной части моря в начале 70-х годов наблюдатели во время ледовой авиаразведки часто наблюдали три крупные стамухи, которые иногда сохранялись в течение нескольких лет. Они формировались на банках в пределах Центральной Карской возвышенности, их минимальные глубины составляют 14,4 м, 5,5 м, 11,2 м и 10,2 м.

Средние размеры этих трех стамух составляли примерно 13 на 24 км и между собой отличались незначительно. Максимальные их размеры (24x40 км). Вместе с возрастом многолетней стамухи увеличивается и ее размер, это происходит за счет формирования зимой припая из набивного торосистого льда. Например, стамуха, которая образовалась на банке с глубиной 5,5м. В конце первой зимы имела размер 7x16 км, в конце второй зимы - 13x20 км, в конце третьей и четвертой зимы - 19x32 км.

Самая южная стамуха их трех сначала формируется в виде двух ледяных образований на двух банках отдельно, после становления припая вокруг них образуется крупное ледяное образование 20x30 км.

Так, огромные стамухи, образующиеся на банках северной части Карского моря, часто сохраняются в течение нескольких лет, а их площадь может достигать 600-900 км.

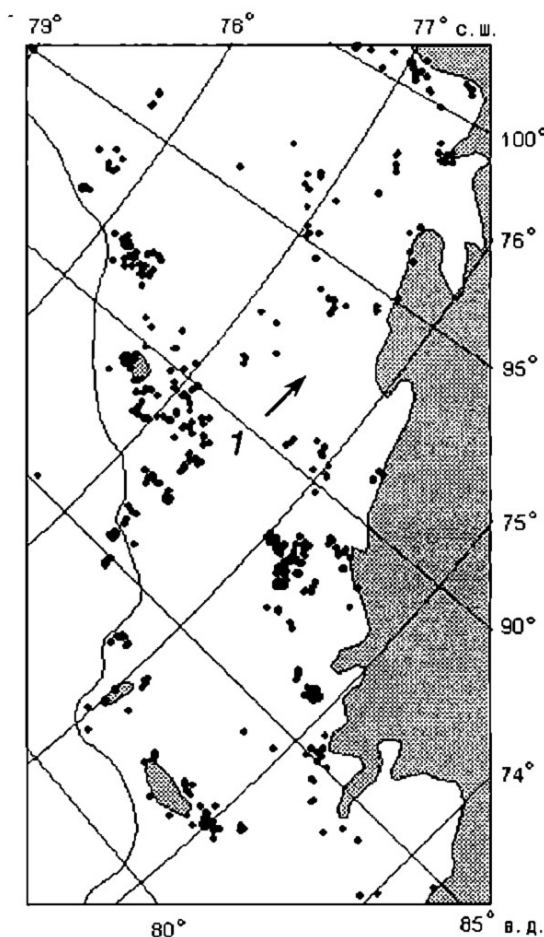


Рисунок 12. Положение стамух в припайном районе северо-восточной части Карского моря.

2.2. Дешифровочные признаки стамух.

2.2.1. Дешифрирование стамух.

Главным признаком стамух является их неизменное положение в течение продолжительного времени, часто нескольких месяцев, но иногда и нескольких лет. Также можно выделить несколько дополнительных признаков, по которым можно обнаружить стамухи на спутниковых снимках (Смирнов В.Г., 2017):

- На припае с подветренной стороны образуется полынья, при смене направления ветра она так же меняет свое местоположение;
- В летний период стамухи, находящиеся во льдах, окружены открытой водой;
- В летние месяцы, когда стамухи находятся в зоне мелкобитых льдов, или зимой, когда стамуха “прорезает” массив льда,двигающийся на нее, образуется шлейф или канал открытой воды;
- Как правило, стамухи в Арктике возникают на глубинах не более 50 м, для Обской губы это значение не превышает 20 м;
- На снимках стамухи имеют хаотичную текстуру и неровные границы, эти признаки лучше всего заметны при дешифрировании в оптическом диапазоне (на снимках достаточно среднего и высокого разрешения);
- Стамухи сохраняют свое местоположение, а лед вокруг них может дрейфовать, это зависит от направления и скорости ветра;
- При “обтекании” стамух лед дробится на маленькие кусочки, они сминаются за зоной разрежения за стамухой и в ледяном покрове образуют след;
- Около стамух может меняться направление и скорость дрейфа льда, что иллюстрирует влияние приливных течений на направление смещения льда;
- При дешифрировании радарных снимков благодаря интенсивному обратному рассеиванию стамухи представляют собой очень яркие пятна.

В качестве примера приведена серия последовательных спутниковых изображений (Рисунок 13, 14) стамухи, наблюдавшейся с 29 ноября 2019 г. по 14 мая 2020 г.

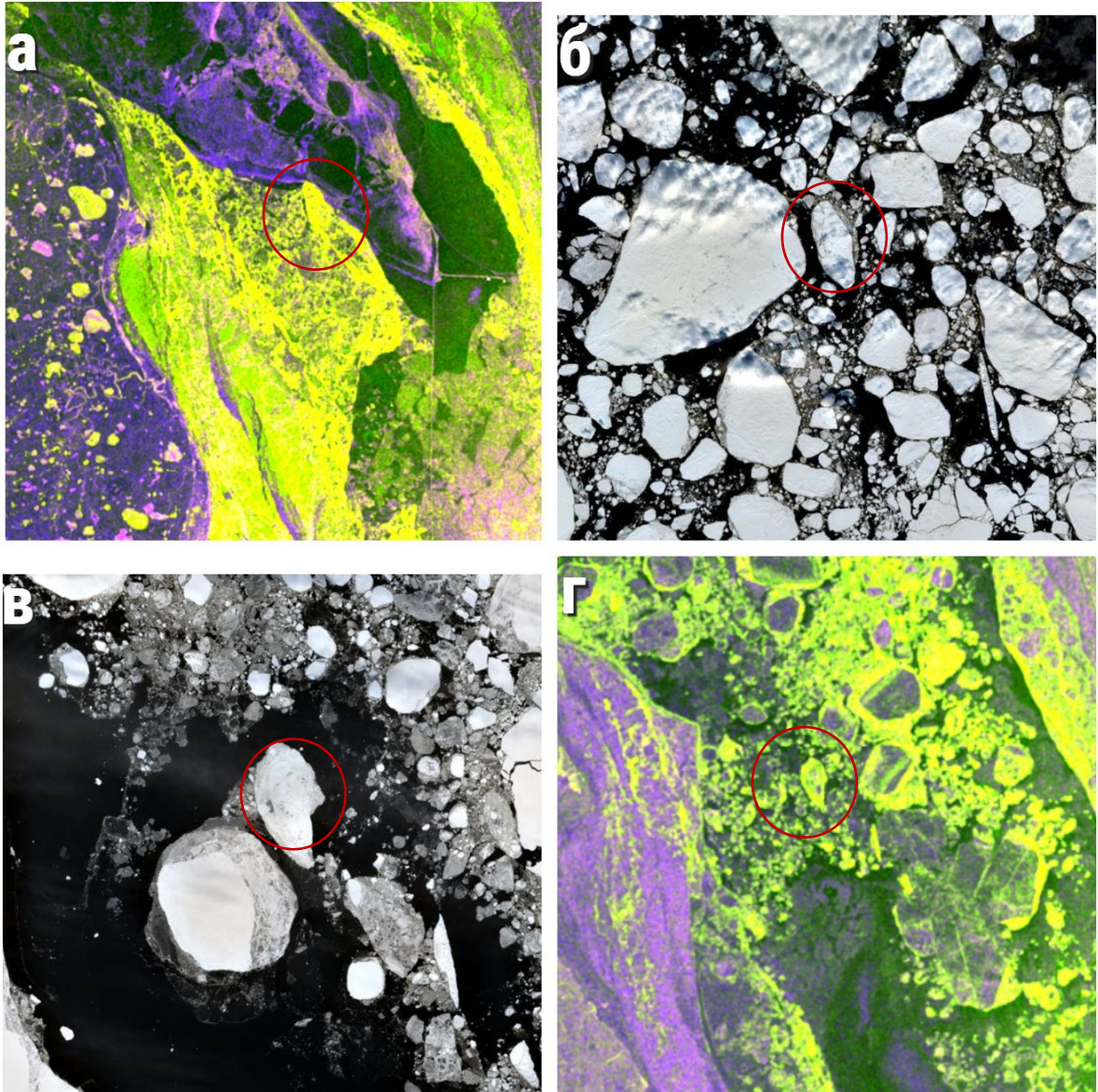


Рисунок 13. Пример дешифрирования стамухи (а – Sentinel-1, 02.29.2020; б - Sentinel-2, 03.30.2020; в - Sentinel-1, 04.27.2020; г - Sentinel-2, 04.29.2020)



Рисунок 14. Пример наблюдения стамухи в день таяния. Sentinel-2, 14.05.2020

2.2.2. Структурирование данных наблюдений.

После того как местоположение стамух было определено требовалось составить базу данных стамух, в которую входили координаты стамухи, дата образования и разрушения, также размеры в длину и ширину. За 2019-2022 гг. было обнаружено 38 стамух, результаты их наблюдения представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты наблюдения стамух за 2019-2022 гг.

№	Долгота	Широта	Дата образования	Дата разрушения	Ширина (морские мили)	Длина (морские мили)	Глубина (м)
1	72,9731	69,6232	11,11,2019	13,06,2020	1	0,30	8
2	72,8083	69,1823	22,11,2019	03,05,2020	0,2	0,80	7,4
3	72,9737	70,0263	22,11,2019	09,06,2020	0,6	1,50	8,8
4	73,054	71,0725	29,11,2019	14,05,2020	0,9	1,60	7
5	72,8099	69,0789	11,11,2019	13,06,2020	0,3	1,50	10
6	72,9065	71,4324	06,11,2019	08,06,2020	0,4	0,60	2,8
7	72,6939	69,7956	11,11,2019	13,06,2020	0,3	1,20	6
8	73,0625	70,1359	04,12,2019	08,06,2020	0,3	0,90	10,6
9	73,8385	73,382	05,01,2020	04,06,2020	2	4,00	5,8
10	72,8888	71,4288	11,11,2020	15,06,2021	0,6	1,50	2,8
11	72,8944	70,3999	23,11,2020	07,06,2021	0,7	0,70	4,2
12	72,9024	70,3952	23,11,2020	01,12,2020	0,8	1,50	4,2

13	73,0142	69,3344	15,11,2020	16,06,2021	0,2	0,50	8
14	73,1909	69,171	17,11,2020	01,12,2020	0,2	0,90	8
15	72,8312	69,469	17,11,2020	06,06,2021	0,03	0,05	8
16	72,8373	69,6569	23,11,2020	06,06,2021	0,3	1,00	6,4
17	72,8807	69,308	17,11,2020	30,06,2021	0,05	0,10	5,8
18	73,037	69,3028	23,11,2020	05,12,2020	0,06	0,08	6,8
19	72,7632	69,6944	23,11,2020	01,12,2020	0,08	0,10	6
20	73,7379	73,3869	06,01,2021	02,07,2021	3	12,00	6
21	73,6456	73,5615	06,01,2021	15,06,2021	0,8	3,00	6
22	73,9445	72,2728	07,03,2021	15,06,2021	0,5	0,20	9,6
23	72,7555	69,6964	23,11,2020	01,12,2020	0,04	0,05	5,8
24	72,901	71,4324	11,11,2020	25,06,2021	0,1	1,10	2,8
25	73,6321	73,5522	06,01,2021	19,01,2021	0,8	3,00	6
26	73,9445	72,2728	07,03,2021	25,06,2021	0,1	0,50	9,6
27	71,3404	73,6404	06,01,2022	18,01,2022	0,6	1,50	9
28	72,6502	71,7991	07,12,2021	04,05,2022	0,1	0,40	7,4
29	73,3212	71,8423	10,12,2021	04,05,2022	0,2	0,90	8
30	74,0235	72,3561	22,04,2022	27,04,2022	2,5	7,2	10,6
31	73,8108	73,2964	20,11,2021	07,12,2021	1	1,80	4
32	73,6504	73,5628	25,12,2021	30,12,2021	0,8	1,50	6
33	73,789	73,3548	01,12,2021	04,05,2022	1	1,30	6,6
34	73,04	70,7751	08,11,2021	04,05,2022	0,4	4,00	1,8
35	72,741	69,4477	08,11,2021	04,05,2022	0,3	0,80	4,8
36	72,73	69,3184	08,11,2021	04,05,2022	0,8	1,70	3,2
37	72,891	71,4307	08,11,2021	04,05,2022	1	1,50	2,8
38	73,758	73,2952	20,11,2021	04,05,2022	1	1,80	4

Глава 3. Распределение стамух в Обской губе по данным ДЗЗ за период 2019 – 2022 гг.

3.1. Описание методики дешифрирования стамух.

Снимки поочередно накладывались на карту в Quantum GIS и последовательно просматривались. При наличии стамух отмечалось их примерное положение. Аналогично проводилась работа в сервисе <https://eos.com/landviewer>. После того, как были проанализированы все снимки за сезон, уточнялось положение каждой из стамух и определялись даты их образования и разрушения. После этого координаты всех найденных стамух выгружались и добавлялись в QGIS, внутренними инструментами определялись их геометрические параметры, такие как ширина и длина. Для определения глубины в месте образования стамух подгружались батиметрические карты Обской губы и Карского моря, которые использовались для оцифровки изобат.

Также после того, как определено местоположение стамухи определяется ее форма. Стоит отметить, что определить границы первичного ядра стамухи не всегда удается верно, данных ДЗЗ для этого может быть недостаточно. К тому же за время своего существования стамухи могут менять размер, в первую очередь за счет припая, который нарастает и разрушается в результате различных динамических процессов.

3.2. Анализ распределения стамух в Обской губе за период 2019 – 2022 гг.

Как уже было сказано, всего за 3 сезона 2019-2022 гг. было найдено 38 стамух. Так, за сезон 2019 – 2020 было обнаружено 9 стамух, за 2020 – 2021 – 21 стамуха, а за 2021 – 2022 - 13. Как правило, встречаются только одиночные стамухи, но, например, за сезон 2021-2022 северо-восточнее острова Шокальского была обнаружена группа 3-х стамух, сохранившаяся как минимум до мая 2022 года. В том же году группа из 3-х стамух была отмечена у устья реки Юньяха. Она образовалась 8 ноября 2021 года и сохранилась также как минимум до мая 2022 года (Рисунок 15).

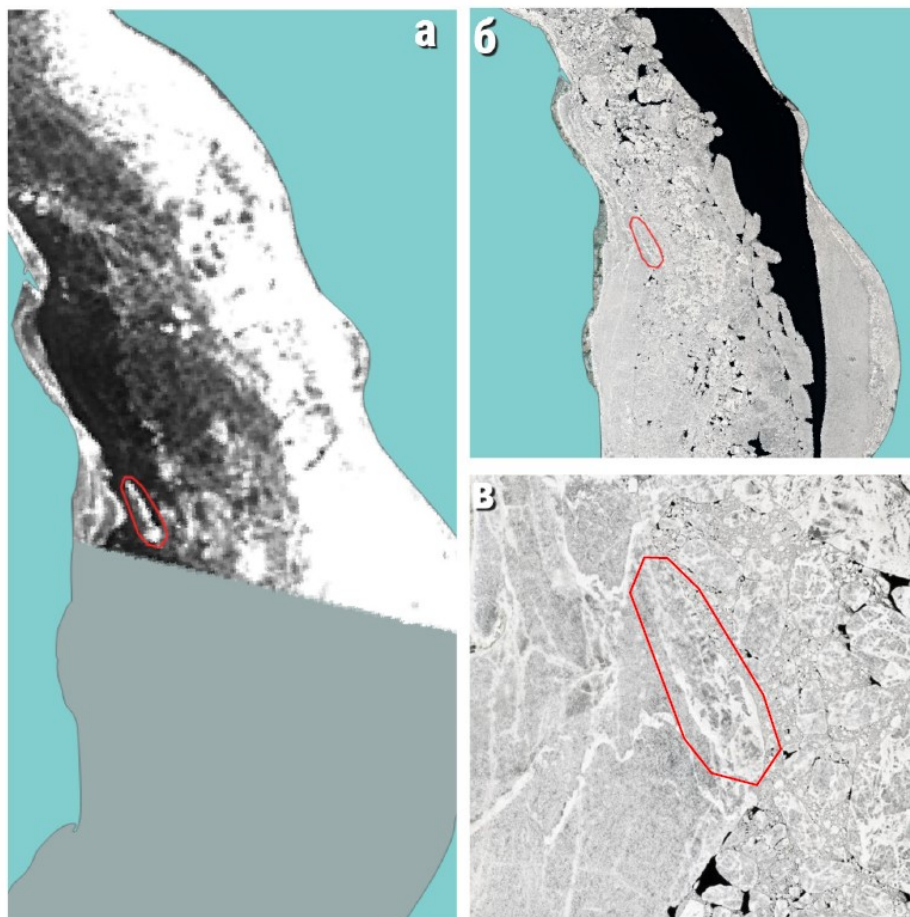


Рисунок 15. Пример группы стамух вблизи р. Юнъяха. стамухи (а – Sentinel-1, 09.11.2021; б - Sentinel-2, 24.05.2022; в - Sentinel-2, 24.05.2022)

На этом месте стамухи образуются часто, так, например, в 2021 году здесь была обнаружена стамуха, достаточно большого размера 3х12 морских миль (5,5х22 км). Также закономерность образования стамух на этом месте подтверждает их наличие в 1972 – 1991 гг., что было описано в разделе 1.2. и 2.1.3.

За 2019-2022 гг. стамухи каждый год образовывались у устья реки Нгарка-Хортяха, что также подтверждается картой положения стамух в Карском море, приведенной в разделе 1.2.

Также стамухи ежегодно отмечались у устья реки Лёкотосё. Так, за сезон 2019-2020 гг. здесь было найдено 2 стамухи, за 2020-2021 гг. - 6, и за 2021-2022 гг. также 2 штуки (Рисунок 16).

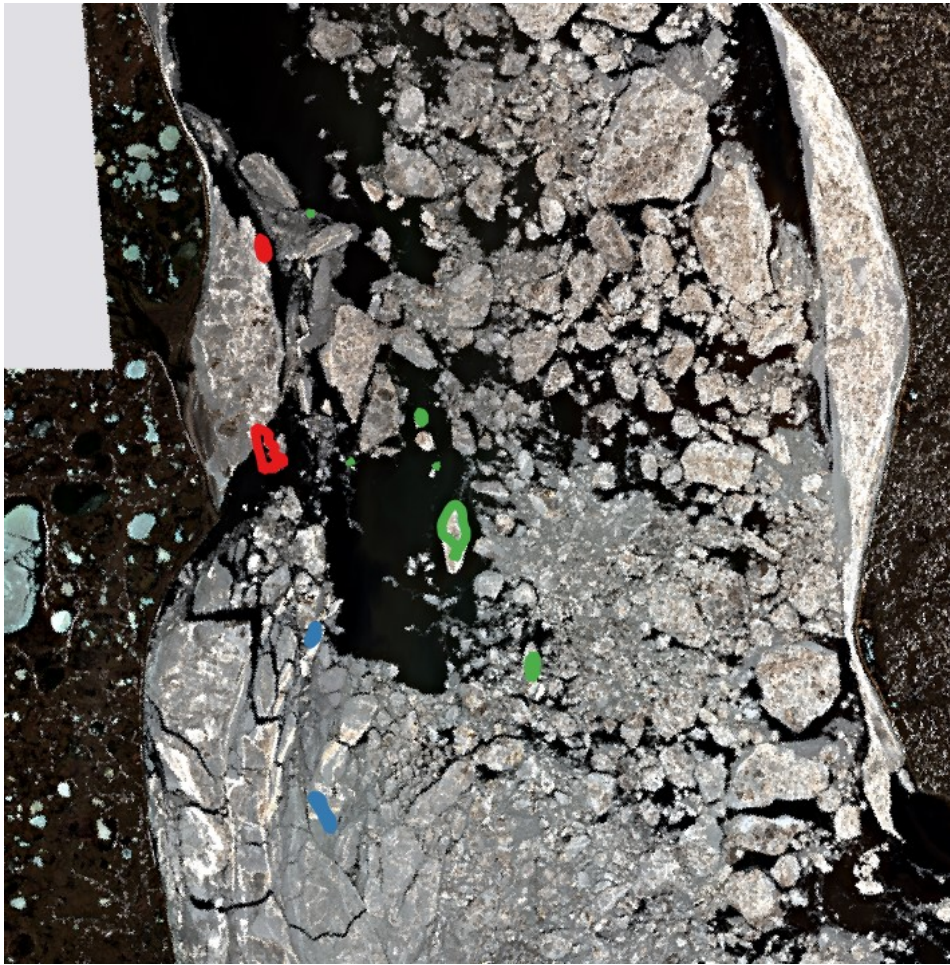


Рисунок 16. Положение стамух в районе устья р. Лёкотосё. Снимки Sentinel-2 2021.06.16. (синим цветом показан контур стамух, образованных в 2019-2020 гг., зеленым в 2020-2021 гг., а красным - 2021-2022гг.)

Так, было замечено, что для данного района характерны сравнительно небольшие или средних размеров стамухи. Их ширина не превышает 3 морские мили (3,5 км), а длина 12 морских миль (22 км). В среднем их ширина составляет 0,8 морских миль (1,5 км), а длина 2 морские мили (3,7 км). Можно сказать, что как правило они имеют круглую или вытянутую форму.

Таким образом, была составлена карта (Рисунок 17) стамух за 2019-2022 гг. Их положение с 1972-1991 гг. в целом не изменилось. Но можно заметить, что намного больше стамух начало образовываться севернее 69° с.ш., южнее самой южной из стамух, обнаруженных в 1972-1991 гг. Также были отмечены 2 стамухи, образованные в 2019 и 2021 годах, около 71° с.ш., где ранее их не было замечено. Сравнение проводилось при наложении карты, составленной автором, на карту положения стамух Карского моря (Рисунок 18).

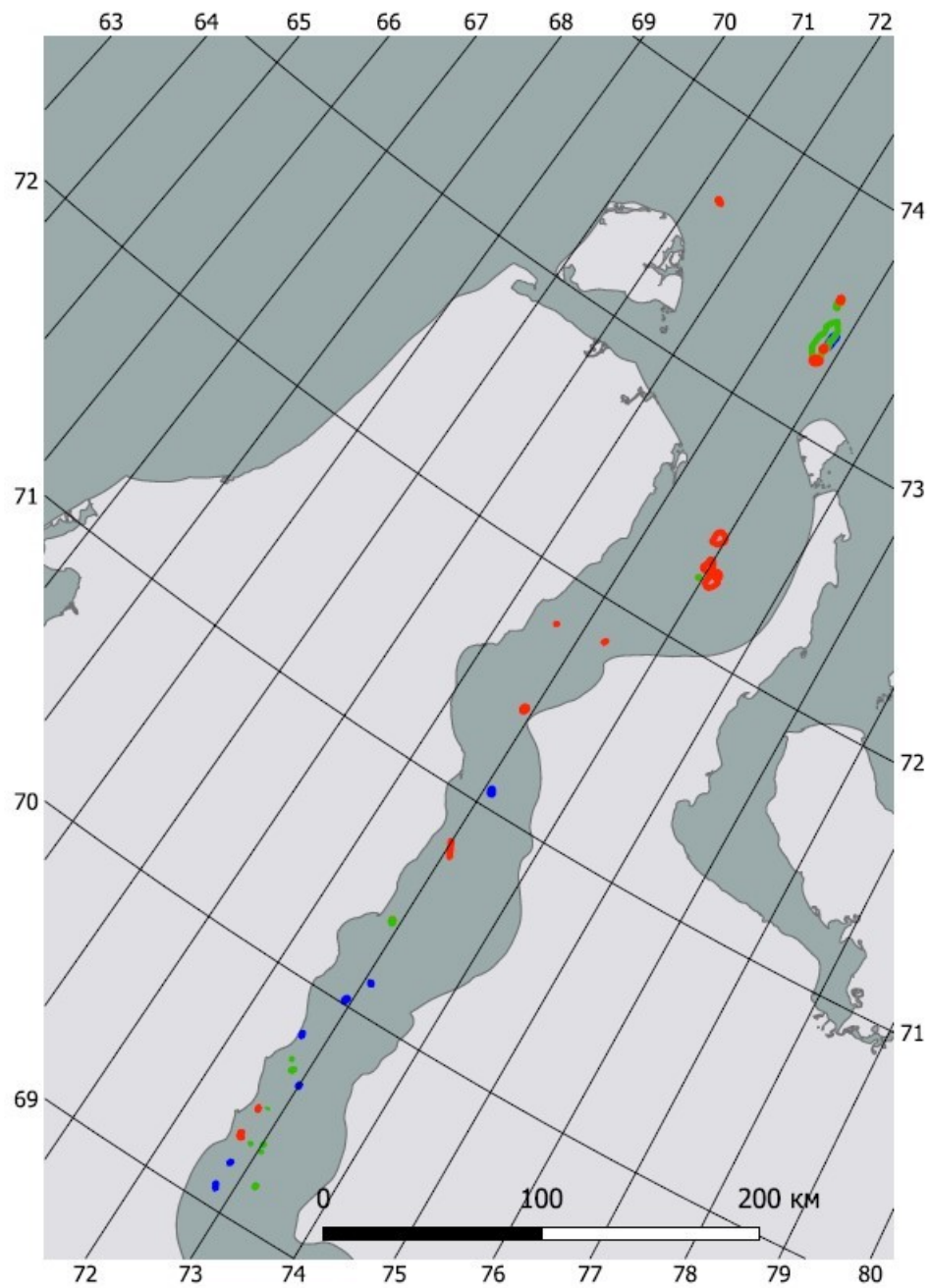


Рисунок 17. Положение стамух в Обской губе, 2019-2022 гг. (синим цветом показан контур стамух, образованных в 2019-2020 гг., зеленым в 2020-2021 гг., а красным - 2021-2022гг.)

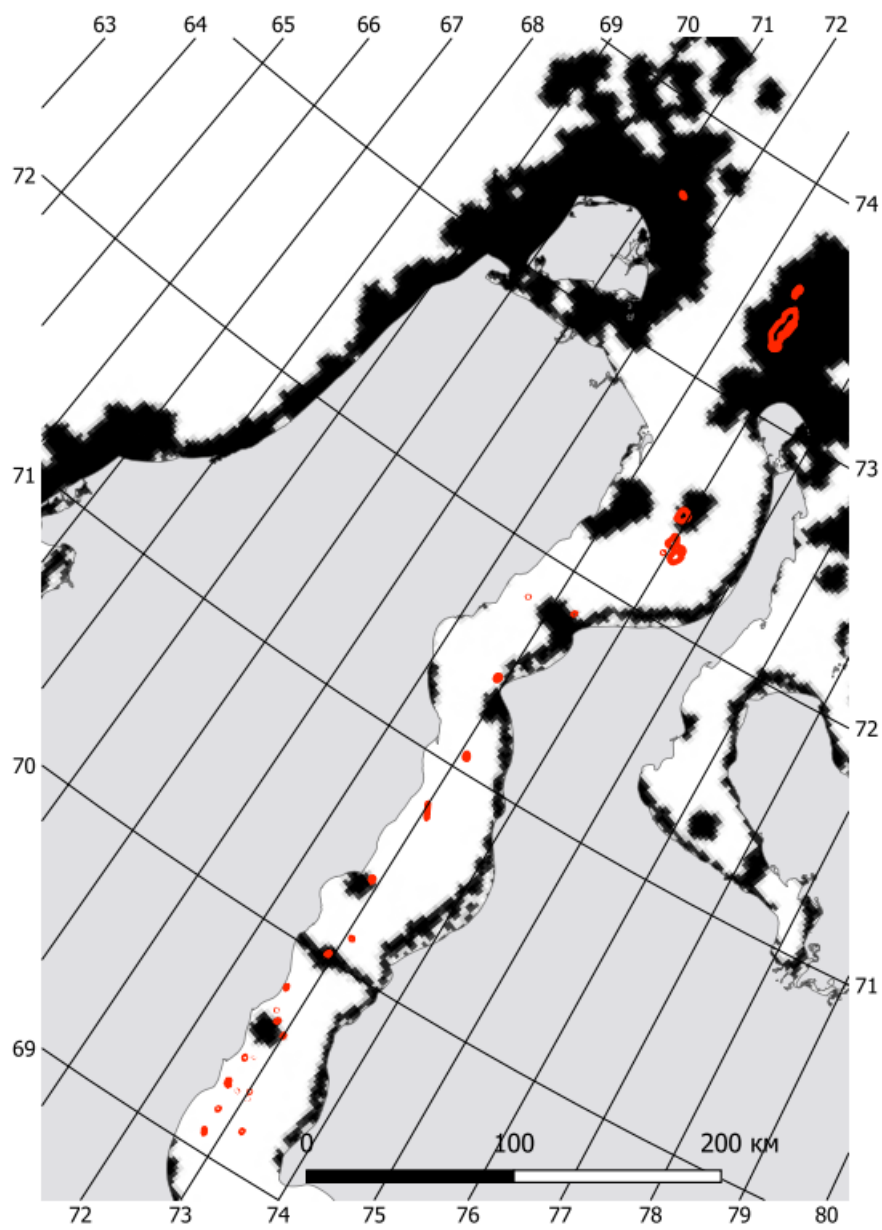


Рисунок 18. Сравнение положения стамух за 1972-1991 гг. и 2019-2022 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данный момент данными дистанционного зондирования покрыта практически вся поверхность Земли, что позволяют наиболее эффективно отслеживать изменения ледяного покрова и вести мониторинг опасных ледяных образований, в том числе стамух. Дистанционные методы мониторинга ОЛО не стоят на месте и развиваются очень стремительно. Что самое важное, дистанционные методы позволяют вести наблюдения непрерывно. Данные, полученные в исследовании, могут служить справочным материалом о локализации и межгодовых изменениях положения стамух.

Таким образом, в ходе данной работы:

- была изучена литература по исследованиям стамух как в Карском море и Обской губе, так и в целом в Арктике;
- было проведено дешифрирование снимков и определено местоположение стамух;
- были сформированы «паспорта» стамух и сведения о них были структурированы в таблице;
- была составлена карта положения стамух в Обской губе и проведен сравнительный анализ с картой, составленной по данным АФС;
- в работе были описаны особенности формирования стамух, времени их образования и разрушения.

В целом закономерности распределения стамух 70-90-х гг. не изменились. Но есть и исключения, стамухи были найдены на местах, не указанных на картах, составленных по данным АФС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.Ю. , Волков В.А. , Сандвен С. , Бабицер М. , Кластер К. Обнаружение арктических айсбергов по спутниковым изображениям РСА и видимого диапазона высокого разрешения, Исследования Земли из космоса, 2008, с. 44-55
2. Алексеев В.Р., Волков Н.В., Втюрин Б.И., Втюрина Е.А., Гросвальд М.Г., Донченко Р.В., Дюнин А.К., Канаев Л.А., Котляков В.М., Кренке А.Н., Лосев К.С., Перов В.Ф., Цуриков В.Л. Гляциологический словарь, 1984, 564 с.
3. Бобылев Л.П., Шалина Е.В., Йоханнессен О.М., Заболотских Е.В., Сандвен С., Бабина О.И. Изменение арктического ледяного покрова по данным спутникового пассивного микроволнового зондирования, Проблемы Арктики и Антарктики, 2008, с. 38–47
4. Воробьёва А.А. Дистанционное зондирование Земли. Учеб.пособие, 2012, 9 с.
5. Гаврилов А.В. ,Пижанкова Е.И. Криолитоморфогенез на мелководьях арктических морей в связи с современным потеплением, Интеркарто. Интергис, 2019, с. 77-89
6. Горбунов Ю.А., Лосев С.М. , Дымент Л.Н. Стамухи Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Лёд и Снег. 2007. С. 41-47
7. Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Стамухи моря Лаптевых, Проблемы Арктики и Антарктики, 2008, С .111-116
8. Гузенко Р.Б., Харитонов В.В. , Миронов Е.У. Особенности внутренней структуры торосов и стамух в арктических морях, Гидрометеорология и экология, 2018, с. 206-208
9. Гузенко Р.Б., Миронов Е.У., Харитонов В.В., Хотченков С.В., Май Р.И., Порубаев В.С., Ковалев С.М., Корнишин К.А., Ефимов Я.О. Комплексное исследование старых торосов в Северном Ледовитом океане, Лёд и снег, 2020, с. 431-444
10. Давыдов А.А. , Дейнека С.П. , Ким А. Обнаружение стамух на акватории Восточно-Сибирского и Карского морей при помощи данных ДЗЗ, Земля из космоса, 2011, с. 40-43

11. Демчев Д. М. , Волков В. А. , Хмелева В. С. , Казаков Э. Э. Восстановление полей дрейфа морского льда по последовательным спутниковым радиолокационным изображениям методом прослеживания особых точек, Проблемы Арктики и Антарктики, 2016, с. 5–19
12. Демчев Д.Д. Методы восстановления, анализа и мониторинга дрейфа морского льда и айсбергов на основе спутниковых радиолокационных данных, 2019, 244 с.
13. Демчев Д.М. Методы восстановления, анализа и мониторинга дрейфа морского льда и айсбергов на основе спутниковых радиолокационных данных, 2018, 127 с.
14. Зубакин Г. К. Ледяные образования морей западной Арктики, 2006, 272 с.
15. Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Статистические особенности экстремального дрейфа льда в юго-западной части Карского моря, полученные по результатам модельных расчетов, Проблемы Арктики и Антарктики, 2020, с. 427-445
16. Марченко Н. Моря Российской Арктики, Условия навигации и происшествия, 2012. 293 с. книга
17. Миронов Е.У. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике, 2010, 319 с.
18. Миронов Е.У., Клячкин С.В., Смоляницкий В.М., Юлин А.В., Фролов С.В. Современное состояние и перспективы исследований ледяного покрова морей российской Арктики, Российская Арктика, 2020, с. 13-29
19. Миронов Е.У., Порубаев В.С. Оценка возраста гряд торосов в замерзающих морях. Лёд и Снег. 2019. С. 355-362
20. Павлов В.А., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Миронов Е.У., Гузенко Р.Б., Харитонов В.В. Особенности развития консолидированного слоя гряд торосов в морях Карском и Лаптевых, Нефтяное хозяйство, 2016, с. 49-54
21. Платонова Е.В., Бычкова И.А. Многолетние наблюдения за стамухами Восточно-Сибирского моря с использованием спутниковых данных, Гидрометеорология и экология, 2018, с. 103-112

22. Смирнов В.Г. Обнаружение по спутниковым данным опасных ледяных образований вблизи инженерных объектов хозяйственной деятельности на шельфе арктических морей: Методическое пособие, 2017. 76 с.
23. Смирнов В.Г. Спутниковый мониторинг опасных ледяных образований, Лёд и Снег, 2012, 103-120 с.
24. Тарасенко А.Д., Селюженок В.В., Сандалюк Н.В., Абрамова И.А., Демчев Д.М. Исследование ледовой обстановки Обской губы по современным спутниковым данным в 2007–2017 гг., Проблемы Арктики и Антарктики, 2022, с.48-63
25. Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Репина И.А., Комарова Н.Ю. Мониторинг морского льда полярных регионов с использованием спутниковой микроволновой радиометрии, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015, с. 150-169
26. Kharitonov V.V. , Borodkin V.A. Stamukhas: Research methods and terminology. EARTH'S CRYOSPHERE, 2020. P. 19-24
27. Selyuzhenok V., Demchev D. An Application of Sea Ice Tracking Algorithm for Fast Ice and Stamukhas Detection in the Arctic . 2021. 13p.

Интернет ресурсы

1. <https://rus.arcticcoast.ru/atlas> - Атлас абразионной и ледово-экскавационной опасности прибрежно-шельфовой зоны Российской Арктики, 27.05.2022