

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр  
(ТИНРО-Центр)

На правах рукописи



003067621

Муктепавел Лариса Станиславовна

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ  
УСЛОВИЙ ОХОТСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 25.00.28 - Океанология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

**ВЛАДИВОСТОК**

2006

4

Работа выполнена в Тихоокеанском научно-исследовательском рыбохозяйственном центре  
(ФГУП «ТИНРО-Центр»)

Научный руководитель:

доктор технических наук

Л.Н. Бочаров

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор

Л.П. Якунин

кандидат географических наук

В.Б. Лобанов

Ведущая организация:

Тихоокеанский институт географии (ТИГ) ДВО РАН

Защита диссертации состоится 2 марта 2007 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета в Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Автореферат разослан \_\_ января 2007 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат географических наук



Ф.Ф. Храпченков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Охотское море является высокопродуктивной морской экосистемой и имеет исключительно важное промысловое значение для России. Положение в субарктической зоне определяет важную его особенность для рыбохозяйственной науки, в частности: пространственно-временную изменчивость ледовитости как всего моря в целом, так и отдельных его шельфовых районов. Ледовые условия формируются вследствие сложных механизмов взаимодействия атмосферы и океана, и оказывают существенное влияние на формирование климата, термического режима вод, структуру морских течений и другие процессы. В связи с постоянным совершенствованием космических систем существенно расширяются возможности идентификации большого числа ледовых параметров, необходимых для выявления новых аспектов региональных и глобальных закономерностей ледовых процессов и уточнения взаимосвязей между ними. Помимо индикационной роли льдов, как показателей гидродинамических процессов, они являются важнейшими объектами космических исследований. В этой связи работы по выявлению роли атмосферы в ледовых процессах нуждаются в дальнейшей детализации. Они необходимы для исследования причинно-следственных связей, необходимых в прогностических разработках. Наряду с безопасностью мореплавания, знание ледовой обстановки позволяет: выделять районы и сроки благоприятные для ведения промысла в зимних условиях; определять условия нереста важных промысловых рыб (Тюрнин, 1967; Завернин, 1972; Мельников, 2001); определять условия воспроизводства морского зверя (Ащепков и др., 1989).

Использование космических технологий позволило проводить более полный учет всех характеристик ледовых условий. В настоящее время данные спутниковых наблюдений занимают прочные позиции как инструмент не только наблюдений, но и исследований.

Анализ результатов дешифрирования космических снимков позволяет вести круглогодичный мониторинг океанологических условий в морях, а использование новых технологий обработки, хранения космической информации и результатов ее обработки, позволяет формировать и постоянно дополнять базу данных дистанционного зондирования. Эти данные приобретают все большее научное и практическое значение, они используются при оценке состояния окружающей среды, формировании ледовых прогнозов, оперативном обеспечении промысла.

Цель и задачи работы. Целью работы является исследование закономерностей пространственно-временной изменчивости ледовых условий Охотского моря с использованием данных дистанционного зондирования.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- оценить характеристику сезонной изменчивости ледовитости и провести типизацию ледовых сезонов за период с 1957 по 2005 г.;
- выявить статистически значимые связи взаимодействия атмосферных процессов и ледяного покрова Охотского моря;
- по материалам спутниковых съемок сформировать многолетние ряды данных по пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней в северо-западной части Охотского моря за период с 1978 по 2005 гг., провести их комплексную типизацию и оценить возможное влияние атмосферных процессов на их изменчивость;
- исследовать влияния изменчивости прибрежных полыней на поведение и воспроизводство охотской сельди.

**Достоверность результатов.** Достоверность результатов определяется большим объемом и высоким качественным уровнем применяемых объективных данных спутниковых съемок, которые обеспечивают широкий спектр параметров ледовой обстановки, получаемых на регулярной основе. Высокое качество данных обеспечено не только использованием спутниковой техники, сложных оптико-электронных приборов, компьютеров, но и современных методов обработки изображений; новыми подходами к получению интерпретации результатов. Кроме того, достоверность получаемой информации подтверждается картами ледовых авиаразведок проводимых в ТИНРО с 1986 г. самолетом-лабораторией ИЛ-18 ДОРР и попутными судовыми наблюдениями, ежегодно проводимыми в Охотском море научно-исследовательским флотом ТИНРО-Центра в холодную половину года.

Полученные выводы не противоречат результатам и выводам других авторов, сделанных на основе анализа других (подспутниковых) видов информации.

**Научная новизна.** Впервые сформирована база данных по декадной (10-дневной) ледовитости Охотского моря с 1979 по 2005 гг. на основе спутниковых съемок, которая существенно дополняет уже имеющиеся архивы. Все данные получены преимущественно по материалам наиболее информативных регулярных космических съемок спутников различных серий, с достаточно большим пространственным разрешением за сравнительно короткие интервалы времени. Проводилось исследование синхронных и асинхронных связей межгодового хода ледовитости с различными параметрами атмосферной циркуляции.

Впервые создан полный архив достаточно объективных и информативных данных по пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней северо-западной части

Охотского моря (сроки появления, сроки окончательного очищения ото льда, площади, географическое положение) и определены среднестатистические значения полученных параметров.

Впервые проведена комплексная типизация прибрежных полыней за период с 1978 по 2005 гг. Определены самые устойчивые, часто повторяющиеся типы полыней. Проведен анализ связи пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней в северо-западной части моря с атмосферной циркуляцией. Показано, что успешность нереста охотской сельди в достаточно большой степени зависит от сроков появления и особенностей пространственного развития полыней.

Научная новизна подтверждена публикациями в рецензируемых научных изданиях и представлением докладов на отечественных и международных конференциях, а также представлением результатов на разных этапах исследования на ежегодных отчетных сессиях ТИНРО-Центра.

**Практическое значение работы.** Вся информация о ледовых условиях, получаемая с помощью космических съемок после анализа и интерпретации, в виде карт передается в лаборатории ТИНРО-Центра и в БИФ ТИНРО (База Исследовательского Флота) для дальнейшего использования в оперативном обслуживании зимнего промысла и научно-исследовательской разработках.

Результаты данных дистанционного зондирования, с учетом полученных автором прогностических связей с атмосферными процессами, с 1998 года формируются в экспертные заключения о возможном развитии ледовой обстановки в районах работы основных рыбодобывающих экспедиций и включаются в оперативные фоновые прогнозы ледовой обстановки от месяца до года. Научные исследования, обеспечивающие оперативное прогнозирование, направлены на изучение миграций и распределений промысловых объектов, а также температурных и кормовых полей. С 1999 г. автор участвует в подготовке фоновых прогнозов на время путины сельди, мнятая и палтуса, предназначенных для руководителей рыбодобывающих предприятий, специалистов рыбной отрасли, а также капитанов добывающих и перерабатывающих судов, работающих в зимнее время в Охотском море.

Совместно с сотрудниками ИАПУ разработаны программы для создания электронных архивов и баз спутниковых данных.

### На защиту выносятся:

- уточнение и дополнение пространственно-временной изменчивости ледовитости Охотского моря за период с 1957 по 2005 г., классификация лет по характеру развития ледовитости в Охотском море с учетом дополненного ряда декадных данных за период с 1979 по 2005 г.;

- анализ взаимодействия ледяного покрова Охотского моря с атмосферными процессами как единой системы с прямыми и обратными связями;

- комплексная типизация пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней;

- взаимосвязи изменчивости прибрежных полыней в северо-западной части моря и атмосферной циркуляции;

- гипотеза влияния пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней на воспроизводство охотской сельди.

**Апробации работы.** Результаты исследований, проведенные в настоящей работе, докладывались ежегодно на отчетных сессиях ТИНРО-Центра. Основные результаты исследований, обобщенные в диссертации, были доложены и обсуждены на российских и международных конференциях, важнейшими из которых являются: международная рабочая конференция «Ледовые условия арктических морей и глобальная климатическая система» (г.Тулуза, Франция, 2002); ежегодная конференция AGU (г. Сан-Франциско, США, 2003); Международные конференции PICES (г. Владивосток, 1999; Канада, 2001; Владивосток, 2005); совещание Рабочей группы PICES (Владивосток, 2004); IX Всероссийская конференция по проблемам рыбопромыслового прогнозирования (Мурманск 2004); 31-й Международный Симпозиум по Дистанционному зондированию окружающей среды (Санкт-Петербург, 2005).

Работа выполнялась в период с 1979 по 2005 г., в рамках:

программы комплексных исследований биологических ресурсов Охотского моря, утвержденной Председателем Госкомрыболовство России;

в соответствии с тематическим планом НИР ФГУП «ТИНРО-Центр» (тема 2.1.3.3 «Использование данных космических наблюдений в Охотском море в рыбохозяйственных целях»).

Результаты исследований, проведенных автором по теме диссертационной работы, отражены в 23 печатных работах, в том числе 8 статей (из них 3 статьи в рецензируемых журналах) и 15 тезисов.

### Конкретное личное участие автора в полученных результатах.

Муктепавел Л.С. на протяжении периода с 1979 по 2006 г. является ответственным исполнителем темы 2.1.3.3 «Использование данных космических наблюдений в Охотском море в рыбохозяйственных целях»). В период с 1979 по 1990-е гг. было получено и обработано автором 615 снимков отечественных ресурсных спутников «Метеор-Природа», «Океан» (типа «Космос-1500»), «Ресурс» и в период с середины 90-х годов - 1108 снимков американских спутников серии NOAA. В результате анализа и интерпретации, представленного перечня материалов, автором составлено около 900 карт ледовой обстановки как по всему Охотскому морю в целом, так и по отдельным его шельфовым районам.

Анализ пространственно-временной изменчивости ледовых условий основан на сформированной лично автором базе данных по декадной ледовитости Охотского моря.

Все заимствованные материалы, содержащиеся в диссертации, имеют ссылки на их источники.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения и списка литературы. Текст работы изложен на 112 страницах. Содержит 38 иллюстраций, 19 таблиц. Список литературы включает 114 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность изучения пространственно-временной изменчивости ледовых условий по данным спутниковых съемок, определены цель и основные задачи исследования, раскрыта научная новизна и практическая ценность полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, дан краткий обзор содержания диссертации.

### **Глава 1. Современное состояние исследуемого вопроса**

В разделе 1.1 на основе литературных данных подробно рассмотрен район исследования, показаны общие характеристики и региональные особенности Охотского моря. Дано географическое положение, метеорологические, гидрологические и ледовые условия исследуемого района.

В разделе 1.2 представлен обзор многолетних исследований ледовых условий Охотского моря, выполненных российскими и зарубежными учеными по выявлению основных черт ледового режима, пространственно-временной изменчивости, основных

факторов, определяющих эволюцию ледяного покрова, особенностей его развития в прибрежных и шельфовых районах (основных районах промысла), разработкам физико-статистических и вероятностных прогнозов ледовитости.

Одними из первых ученых, занимавшихся выявлением и исследованием закономерностей формирования ледовых условий Охотского моря, были Н.А. Белинский (1965), Г.А. Столярова (1961), А.Н. Крындин (1964, 1966), которыми были определены прогностические связи изменчивости кромки льда и особенностей атмосферной циркуляции. Наиболее подробные обобщения о режимных характеристиках ледового режима Охотского моря было выполнено Л.П. Якуниным (1974, 1979, 1987, 1995, 1997). Им были собраны, систематизированы многолетние данные о развитии ледовых процессов и пространственно-временном распределении основных ледовых характеристик.

Большой вклад в исследование режимных характеристик Охотского моря и в разработку прогностических схем внесен В.В. Плотниковым: им продолжена подробная детализация сезонной изменчивости ледовитости Охотского моря за период с 1957 по 1999 год, исследован ледовый режим и изменчивость ледовых условий всей системы дальневосточных морей (1981, 1982, 1990, 1997, 1998, 2002).

Несколько работ посвящены изучению особенностей развития ледовых условий в прибрежных районах, где сосредоточены богатейшие биологические ресурсы (Зуенко; Юрасов, 1997). Одним из наиболее важных объектов промысла является охотская сельдь. Сроки подхода на нерест и успешность его прохождения зависят от комплекса причин. К ним относятся ледовые и гидрометеорологические условия (Завернин, 1972). Характер сезонного хода ледовитости обуславливает благоприятное или неблагоприятное состояние районов нерестилищ, пути и сроки миграций, формирование скоплений промысловых объектов (Аюшин, 1947, 1951; Харитоновна, 1965; Чернявский и Харитоновна, 1968; Тюрнин, 1967, 1975; Мельников, 2001).

В разделе 1.3 дан обобщенный анализ использования спутниковой информации в исследовании морского льда.

Современные спутники позволяют получать изображения высокого и среднего разрешения в видимом и тепловом инфракрасном и радиодиапазонах, по которым могут быть оперативно составлены достаточно точные карты ледового покрова для большинства районов.

## **Глава 2. Материалы и методы исследований**

Во второй главе приведено описание и обоснование используемых в работе материалов (раздел 2.1) и методов исследования (раздел 2.2).

Основу данных по ледовым условиям Охотского моря составляет сформированная автором база данных с 1979 по 2005 гг., дополняющая имеющийся многолетний ряд данных по декадной ледовитости всего Охотского моря. Основными источниками дистанционных наблюдений были: изображения телевизионных и многоспектральных съемок с ресурсных отечественных спутников, в том числе: со спутников «Метеор» и «Метеор-Природа», «Океан» (типа «Космос-1500») с пространственным разрешением в надире 0,24-0,14 км; спутников «Ресурс» с системами высокого разрешения; изображения американских спутников серии NOAA с пространственным разрешением 0,35 км.

Дополнительно были использованы спутниковые ледовые карты National Ice Center, США и карты Японского метеорологического агентства.

Основным методом обработки спутниковых снимков являлось визуальное дешифрирование достаточно информативных изображений среднего разрешения. Карты строились с полученных снимков, как по всей акватории моря, так и по отдельным районам побережья, при помощи программы *Didger.exe* (версия 2) и программы для обработки и визуализации данных *Arc View GIS* (версия 3.2).

В качестве метеорологических показателей использовались состояния сибирского антициклона, алеутской депрессии (Смолянкина, 1999; Переведенцева и др., 1994). Были использованы: гидрометеорологические ежемесячники (ежегодники); данные геопотенциала  $H500$  (Шатилина, 2001); индекс Каца для акватории Охотского моря; типизация синоптических процессов (Глебова, 2003); «Типизация преобладающих форм атмосферной циркуляции над Охотским морем» (Глебова, 2003).

Биологические данные по численности (тыс. экз.) и биомассе сельди (тонны) в возрасте от 4+ до 6+ за период с 1998 по 2004 гг. были получены в комплексных экспедициях ТИНРО-Центра в Охотском море; данные по нерестовому запасу сельди (тыс. тонн), взятые из путинных прогнозов «Нагульная сельдь» с 1978 по 2002 год.

В качестве параметра классификация ледовых условий Охотского моря использовалась суммарная ледовитость года, определяемая соотношением

$$L_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{ij}$$

где  $L_j$  – суммарная ледовитость  $j$ -го года;  $L_{ij}$  – ледовитость  $i$ -й декады  $j$ -го года;

$n$  – количество декад со льдом в  $j$ -м году.

К типу суровых зим относились годы, если  $L_j > L + (1/6)A$ , мягким зимам, если  $L_j < L - (1/6)A$ . К зимам умеренного типа относились годы, если  $L_j$  принадлежит интервалу  $L \pm (1/6)A$ , где  $A$  – максимальная амплитуда изменения характеристики.

Аномальность ледовитости определялась соотношениями:

$L_m - L_{cp} > 1/2 A$  – для экстремально ледовитых зим

$L_m - L_{cp} < 1/2 A$  – для экстремально малоледовитых зим, где  $L_m$  – среднемесячная ледовитость февраля,  $L_{cp}$  – среднееголетнее значение ледовитости февраля,  $A$  – амплитуда изменения характеристики.

Для анализа многолетнего хода аномалий исследуемых параметров использовался метод интегральных кривых, которые представляют собой накопленные суммы ежемесячных или средних за ледовый сезон аномалий.

Проведенная комплексная типизация пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней в северо-западной части Охотского моря, основанная на 3-х признаках: сроки появления полыней, их географическое положение и характер развития в течение весны. Далее, для выяснения причин приведенной пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней, проводился анализ синхронных и асинхронных связей с синоптическими условиями.

### Глава 3. Изменчивость ледовых условий Охотского моря

В главе представлен анализ пространственно-временной изменчивости ледовитости Охотского моря за период с 1957 по 2005 гг. с учетом дополненного ряда декадных данных, полученных по материалам спутниковых съемок.

В разделе 3.1 проведена типизация ледовых сезонов на всем массиве данных. Повторяемость мягких и холодных зим при заданных критериях классификации близки между собой (25 и 26 % соответственно). Почти половину (49 %) представленного ряда составляют зимы с умеренным характером развития ледовых процессов в Охотском море.

В разделе 3.2 дана характеристика сезонной изменчивости ледовых условий Охотского моря. Определено наличие и продолжительность коротких и длинных циклов во временном ходе параметра с декабря по май.

Показано, что отличительной особенностью режима зимней ледовитости Охотского моря является продолжительный период преобладания положительных аномалий с 1958 по 1983 гг. (около 26 лет) и период преобладания отрицательных аномалий с 1983 по 2005 гг. (около 23 лет). В первую эпоху выделяется 3-летний (с 1963 по 1965 гг.) и 10-летний (с 1968 по 1977 гг.) периоды стабильного состояния площади льда («около нормы»), что связано с устойчивостью процессов, происходящих в атмосфере. Во вторую эпоху также отмечаются непродолжительные периоды, когда площади льда были близки к среднееголетнему значению – это 4-летний - с 1992 по 1995 гг., 3-летний период – с 1998 по 2000 гг. и 2-летний - с 2000 по 2003 гг.

#### Глава 4. Сопряженность атмосферных и ледовых процессов в Охотском море

В главе изложены результаты проведенных исследований поиска различных взаимосвязей между характеристиками атмосферы и ледовых условий.

В разделе 4.1 показано влияние положения и интенсивности ЦДА на ледовые условия в различные периоды ледового сезона (период нарастания и таяния ледяного покрова) в Охотском море. Выявлено, что: а) давление в январе в центре сибирского антициклона определяет ледовитость Охотского моря в марте; б) состояние ледовитости моря в декабре коррелирует с долготным расположением сибирского антициклона в январе.

В разделе 4.2 продемонстрировано, что экстремальные ледовые условия в Охотском море определяются интенсивностью тропосферного полярного вихря над акваторией Охотского моря.

В годы с суровыми ледовыми условиями в Охотском море тропосферный полярный вихрь над акваторией Охотского моря активизируется, в теплые зимы тропосферный вихрь ослабевает и смещается на континентальные районы.

Выявленные механизмы влияния крупномасштабных атмосферных процессов на формирование аномальных ледовых условий на Охотском море можно распространить и на всю систему дальневосточных морей. Это связано с тем, что характер крупномасштабной изменчивости ледяного покрова на отдельных акваториях дальневосточного региона тесно связан между собой и определяется пространственно-временными масштабами барических систем и характером их эволюции.

В разделе 4.3 выявлены положительные и отрицательные количественные связи ледовитости с зональными и меридиональными индексами Каца и суммарной повторяемостью типов атмосферной циркуляции.

В период с 1974 по 1990 гг. площадь льда в Охотском море положительно коррелировала с зональным переносом ( $r = 0.56$ ). С меридиональным переносом эта характеристика имела неустойчивую отрицательную связь ( $r = -0.24$ ). Фактически в этот период увеличение площади происходило при усилении западных переносов. С 1991 по 2002гг. площадь ледяного покрова стала коррелировать с зональным индексом отрицательно ( $r = -0.29$ ), а с меридиональным имела значимую положительную связь ( $r = 0.48$ ), т.е. увеличение площади происходило на фоне ослабления западных переносов и усиления северных.

Чтобы оценить, насколько согласованно происходят колебания в характере изменения ледовых условий и локальных синоптических процессов над исследуемым бассейном, привлекалась типизация атмосферных процессов для района Охотского моря С.Ю.Глебовой. Анализировались связи площади с ходом суммарной повторяемости «холодного» типа

атмосферной циркуляции (V тип), за предшествующий зимний сезон (январь - март), обусловленного взаимодействием зимних ЦДА - сибирского антициклона и алеутской депрессии. Была обнаружена их хорошая согласованность ( $r = 0,61$ ), которая позволяет предполагать, что условия для развития ледовой обстановки закладываются за год раньше. Подобный характер взаимосвязи можно оценивать как прогностический с заблаговременностью 1 год.

### Глава 5. Пространственно-временная изменчивость прибрежных полыней в основных районах нереста охотской сельди

Важной с точки зрения освоения шельфовой зоны является задача дистанционного изучения и оперативного прослеживания особенностей развития ледовых процессов в нерестовых и промысловых районах морей. Глава посвящена исследованию прибрежных полыней в северо-западной части Охотского моря с учетом распределения основных нерестилищ охотской сельди.

В разделе 5.1 на основании собранной автором подробной статистики параметров прибрежных полыней за период с 1978 по 2005 гг., выявлены особенности их пространственно-временной изменчивости и проведена комплексная типизация.

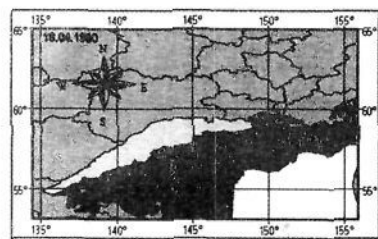
Наличие прибрежных полыней почти во все годы, за редким исключением (1993 и 1999 гг.) позволило установить, что средним сроком появления прибрежных полыней в северо-западной части Охотского моря является 3-я декада марта.

Самое раннее образование полыньи (1-я декада марта) в этом районе отмечалось в 1990 году. Самое позднее образование (3 декада апреля) в 1994, 1998 и в 2001 годах. Стандартное отклонение сроков появления полыньи, характеризующее амплитуду сроков появления, равняется 3 декадам. Средний срок очищения побережья ото льда - 1-я декада июня. Самым ранним сроком очищения следует считать 1 декаду апреля. Самое позднее очищение произошло в 3-й декаде июля 1999 года. Среднеголетняя величина площади полыней весной составляет 53802 кв.км. Минимальная площадь полыней наблюдалась в 1994 году - 7976 кв. км, а максимальная - в 1980 году (137663 кв. км). Коэффициент вариации площадей полыней, показывающий отношение стандартного отклонения к среднему многолетнему значению, довольно велик ( $C_v = 0,58$ ), что указывает на значительные колебания площади полыньи от года к году.

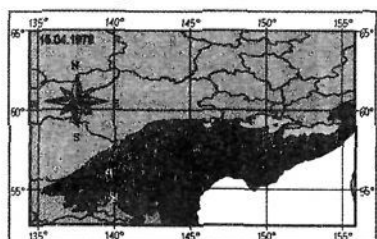
Проведена комплексная типизация полыней в северо-западной части Охотского моря с учетом сроков появления полыней, их географического положения (см. рисунок) и характера развития (табл.1). Анализ повторяемости процессов образования полыней свидетельствует, что самым устойчивым часто повторяющимся является *подтип "СЗ", 3-го*

*типа*. Иначе говоря, в 5-и случаях (1980, 1992, 1996, 1997 и 2005 гг.) устойчивая полынья появлялась позже среднемноголетних сроков и существовала вдоль всего северо-западного побережья Охотского моря в течение весны. Вторым по повторяемости является *подтип "3", 2-го типа* (1991, 2002-2004 гг.). Появление полыней в сроки раньше среднемноголетних носит эпизодический характер и с различным географическим положением вдоль побережья северной половины Охотского моря.

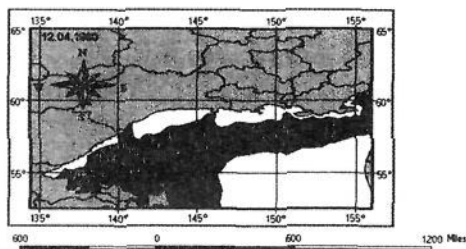
Западный тип (З)



Северный тип (С)



Северо-Западный тип (СЗ)



Примеры пространственного распределения полыньи в прибрежной зоне в северо-западной части Охотского моря

В разделе 5.2 проведен анализ факторов, влияющих на пространственно-временную изменчивость прибрежных полыней в северо-западной части Охотского моря.

Для прибрежной полыньи важное значение имеет и характер воздушных потоков, регулирующих их размеры и положение. Внутрисезонная изменчивость развития полыней в большой степени определяется конкретной синоптической обстановкой, которая зависит от прохождения в данном регионе циклонов и антициклонов. Анализ многолетнего хода параметров прибрежных полыней северо-западной части Охотского моря дает основание предположить, что подобные изменения обусловлены сменой макросиноптических процессов, поэтому для выяснения причин пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней, были исследованы синоптические процессы.

Таблица 1

Комплексная типизация пространственно-временной изменчивости прибрежных полынней в северо-западной части Охотского моря

Характер развития	1 тип			2 тип			3 тип		
	Западное 137°вд- 143° вд.	Северное 143°вд-155°вд	Все северо- западное прибрежье 137°вд-155°вд	Зап. 137°вд- 143° вд.	Сев. 143°вд-155 вд	Все северо- западное прибрежье 137°вд-155°вд	Зап. 137°вд.- 143°вд.	Сев. 143°вд-155°вд	Все северо- западное прибрежье 137°вд-155°вд
	подтип З	подтип С	подтип СЗ	подтип З	подтип С	подтип СЗ	подтип З	подтип С	подтип СЗ
устойчивый	1990	1986	1984 1988	2002 2003 2004	1978	1983	2000	1979 1995	1980 1992 1996-1997 2005
неустойчивый	1981			1991	1989			1994 1987	1982 1985 1998 2001

На первом этапе исследования синоптических условий соответствующих раннему и позднему формированию полыней, привлекались индексы атмосферной циркуляции А.Л. Каца. Проведенное сравнение межгодовой изменчивости площади полыней, осредненной за период с марта по май и аномалий зонального и меридионального индекса А.Л. Каца, осредненных за период с декабря по март показало, что:

а) колебания площади полыней с марта по май имеют выраженный обратный ход с аномалиями меридионального индекса;

б) устойчивое расширение зон чистой воды чаще всего приурочено к сезонам преобладания отрицательных, либо резкого уменьшения положительных аномалий меридионального индекса, т.е. при усилении северного переноса. Теснота связи оценивается значимым отрицательным коэффициентом корреляции ( $r = -0,65$ ).

Сроки появления и сроки устойчивого развития полыней так же, как и их площади довольно изменчивы. Более раннее очищение происходит при преобладании положительных аномалий меридионального индекса в течение всего ледового сезона (с декабря по март), т.е. при снижении интенсивности северного переноса (зимнего муссона).

Далее был проведен анализ типов образования прибрежных полыней вдоль северо-восточного побережья с учетом преобладающих типов атмосферной циркуляции (с 1978 по 2005 гг.), которые определяют мезомасштабные процессы у Земли и влияют на температурный и ледовый режим северной части Охотского моря. С этой целью к работе привлекались «Типизация атмосферных процессов над Охотским морем» С.Ю. Глебовой. Полученные результаты представленные в таблице 2, свидетельствуют, что:

1. Образование устойчивой полыни в ранние сроки вдоль западного побережья (*тип I, подтип «з»*) чаще всего обусловлено преобладанием IV типа атмосферной циркуляции (рис.), с февраля о март. Для IV типа характерна интенсификация Алеутской депрессии, как правило, над Камчаткой либо западной половиной Берингова моря, пополнение которой осуществляется за счет как тихоокеанских субтропических циклонов с юга, так и континентальных полярно-фронтных циклонов с запада. Преобладание этого типа в зимнее время вызывает выхолаживание северо-восточных районов моря, а в центральных и западных районах западные и северо-западные переносы в начале весны вызывают взлом и разрежение льда (Глебова, 2003). То есть, раннее образование устойчивой полыни вдоль западного побережья, обусловлено преимущественно влиянием динамического фактора - западных северо-западных отжимных ветров (зональный индекс  $I_3$  при IV типе имеет положительные и высокие значения, не менее 2.0). При этом северное побережье в марте блокировано льдом

Взаимосвязь пространственно-временной изменчивости прибрежных полынней с преобладающими формами атмосферной циркуляции над Охотским морем

Типы и подтипы прибрежных полынней	Преобладающие типы атмосферной циркуляции над Охотским морем по типизации Глебовой С.Ю.
<b>тип 1, подтип «э»</b> Образование устойчивой полыньи в ранние сроки вдоль западного побережья	<b>IVтип</b> Февраль - Март
<b>тип 2, подтип «э»</b> Образование устойчивой полыньи в среднемноголетние сроки вдоль всего западного побережья	<b>IV, VI → IV, VI → IV III</b> Февраль                      Март                      Апрель
<b>тип 3, подтип «э»</b> Образование устойчивой полыньи в поздние сроки вдоль западного побережья	<b>V → IV → VII</b> Февраль                      Март                      Апрель
<b>тип 1, подтип «с»</b> Образование устойчивой полыньи в ранние сроки вдоль северного побережья	<b>IV → V → VI → IV или II</b> Февраль                      Март                      Апрель
<b>тип 2, подтип «с»</b> Образование устойчивой полыньи в среднемноголетние сроки вдоль северного побережья	<b>V → VI → VI</b> Февраль                      Март                      Апрель
<b>тип 3, подтип «с»</b> Образование устойчивой полыньи в поздние сроки вдоль северного побережья	<b>V → VI → VII → VII</b> Февраль                      Март                      Апрель
<b>тип 1 подтип «с-з»</b> Образование устойчивой полыньи в ранние сроки вдоль всего северо-западного побережья	<b>IV → V или VI</b> Февраль                      1-я декада Марта
<b>тип 2, подтип «с-з»</b> Образование устойчивой полыньи в среднемноголетние сроки вдоль всего северо-западного побережья	<b>IV и V → VI, IV → I, II</b> Февраль                      Март                      Апрель
<b>тип 3, подтип «с-з»</b> Образование устойчивой полыньи в поздние сроки вдоль всего северо-западного побережья	<b>V → VI → IV → VII → I, VII</b> Февраль                      Март                      Апрель

Чередование IV типа и VI в период с февраля по март обычно соответствует появлению полыньи в 3-й декаде марта - в нормальные сроки (*тип 2, подтип «э»*). При этом над охотоморским бассейном отмечается восточный перенос. В зимние месяцы это приводит

к ухудшению ледовой обстановки в западной части моря и развитие полыньи здесь периодически сдерживается прижимными восточными ветрам.

Полынья вдоль западного побережья образуется в поздние сроки (*тип 3 подтип «з»*) при чередовании V и IV типов атмосферной циркуляции с февраля до середины марта. Действие V типа в феврале вызывает поступление на акваторию арктических холодных воздушных масс. В Охотском море подобный тип циркуляции вызывает формирование наиболее холодных погодных условий.

2. Образование устойчивой полыньи в ранние сроки вдоль северного побережья (*тип 1, подтип «с»*) обусловлено сменой IV типа в конце февраля на VI тип, который может продолжаться до конца марта. Отличительной чертой VI типа является воздействие на Охотское море северной части алеутской депрессии (либо ее ложбины), когда она сдвигается южнее в сторону океана. При этом на Охотское море происходит активное поступление более теплых воздушных океанских масс. В зимние месяцы восточные ветры могут ухудшать ледовую обстановку в северо-западной части моря, а весной приводят к более быстрому освобождению ото льда северного побережья, включая залив Шелихова.

В данном случае раннее появление устойчивой полыньи вдоль северного побережья обусловлено динамическим фактором (преобладающий северный, северо-восточный отжимной ветер), подкрепленного термическим влиянием в марте (выносом теплых океанских воздушных масс).

Образование полыньи вдоль северного побережья в нормальные сроки (*тип 2, подтип «с»*) отмечалось, когда большую половину февраля господствовал V тип атмосферной циркуляции, выхолаживая северную половину моря, и далее в марте менялся на VI тип.

Полынья образуется в более поздние сроки вдоль северного побережья (*тип 3, подтип «с»*) при той же последовательности преобладающих типов атмосферной циркуляции, с той лишь разницей, что в 3-й декаде марта происходит смена VI тип на VII.

В этом случае центр циклона обозначен непосредственно над бассейном Охотского моря, на севере преобладают восточные ветры, которые несколько сдерживают развитие полыньи в мористую часть.

3. Образование устойчивой полыньи в ранние сроки вдоль всего северо-западного побережья (*тип 1, подтип «сз»*) отмечалось преимущественно при смене в начале марта IV типа на VI, в отдельные годы на V тип. В первом случае (как отмечалось выше) раннее появление полыньи происходит сначала вдоль западного побережья, а дальнейшее ее развитие вдоль северного берега к востоку обусловлено влиянием северо-западных отжимных ветров, характерных для VI типа. В случае, если в марте чередуются V и VI типы,

попынья вдоль северного побережья бывает более разнита, поскольку под влиянием градиентной зоны характерной для V типа в марте над северным побережьем отмечаются отжимные северные ветры, нередко штормовой силы.

В годы, когда со второй декады марта происходило чередование VI-го типа атмосферной циркуляции, вызывающего уплотнение ледонных массивов в западной части моря и разрежение вдоль северного побережья, а затем в 3-й декаде преобладал IV тип циркуляции (отжимной ветер западных, северо-западных направлений для западного побережья) – развитие попыньки происходило по *2 типу «сз» подтипу* (попынька появляется в среднемноголетние сроки вдоль всего северо-западного побережья).

При действии с конца марта по апрель I или VII типов атмосферной циркуляции, для которых характерно малоградиентное поле давления над бассейном Охотского моря (значения индексов Каца небольшие) – появление попыньки вдоль всего северо-западного побережья происходит в поздние сроки (*3 тип «сз» подтип*)

Выявленные закономерности образования попыньки с повторяемостью преобладающих типов атмосферных процессов над Охотским морем свидетельствуют, что:

- квазистационарные прибрежные попыньки: Охотско-Аянская и попынька, существующая между Охотском и Тауйской губой (*Якунин, 1997*) - подтип «з», чаще всего появляются при действии IV типа атмосферной циркуляции над бассейном Охотского моря с конца февраля по март;

- квазистационарные прибрежные попыньки Тауйской губы и попынька между полуостровами Кони и Пьягина - подтип «с» обусловлено преобладанием V типа атмосферных процессов в феврале с переходом на VI тип в марте;

- образованию прибрежных попыньки вдоль всего северо-западного побережья отмечается преимущественно – при смене IV в феврале на V или на VI тип в марте;

- основные условия для образования попыньки 1 и 2-го типов в северо-западном районе Охотского моря закладываются с февраля по март, для попыньки 3-го типа – преимущественно с марта по 1-ю половину апреля.

Таким образом, с физической точки зрения, основную роль в формировании ранних, средних или поздних по срокам процессов образования попыньки вдоль северо-западного побережья Охотского моря, играют динамические (ветровые) воздействия на ледовый покров в прибрежной зоне. Необходимо учитывать, что ветры определенного направления для одних участков побережья являются отжимными, а для других – прижимными. Отсюда следует, что те или иные связи и закономерности, установленные для одних районов моря, не

могут быть привлечены, без соответствующего анализа, для объяснения особенностей пространственно-временной динамики ледовых условий в других районах моря.

В разделе 5.3 поведен анализ влияние ледовых условий на успешность нереста охотской сельди и урожайность её поколений. Показано, что одной из важных причин, препятствующих началу и успешному прохождению нереста сельди, является ледяной покров, который воздействует на районы нереста не только термически, понижая температуру воды, но и механически, разрушая поля водных растений с выметанной икрой.

Проведенные исследования показали, что общая площадь ледяного покрова Охотского моря не оказывает влияния на формирование чистой воды в районах нереста сельди. Весной в северо-западной части Охотского моря формируются локальные условия ледового режима, не связанные с общей ледовитостью моря.

Далее, на основании сформированной базы данных параметров прибрежных полыней в северо-западной части Охотского моря проведено исследование связи пространственно-временных характеристик полыней с урожайностью поколений сельди. В связи с тем, что численность отдельных поколений сельди наиболее надежно можно оценить в возрасте 4+ (рыбы в возрасте 5 лет), когда особи пополняют нерестовый запас (естественная смертность к этому возрасту существенно снижается) (Тюрин, 1967; Мельников, 2001). Установлена устойчивая связь численности поколений сельди в возрасте 4+ с площадью полыней в районах нерестилищ, при сдвиге на год рождения рыб ( $r = 0,75$ ).

Поскольку нерестовый запас сельди определяется в значительной мере урожайностью поколений 5-годовиков. (Тюрин, 1967, Мельников 2001, 2005), то при анализе связи нерестовых запасов обнаруживается качественная связь со сроками появления устойчивых полыней и их площадью со сдвигом на год рождения рыбы.

Как показали исследования, анализ полученных 28-летних рядов данных о ледовых условиях в репродуктивной зоне охотоморской сельди подтверждает, что успешность нереста в достаточно большой степени зависит от сроков появления и особенностей пространственного развития полыней.

Работа завершается разделом «**Заключение**», в котором изложены основные результаты и выводы, полученные в работе:

1. Анализ пространственно- временной изменчивости подтверждает значительную сезонную и межгодовую изменчивость ледовитости. Для многолетнего хода ледовитости характерен продолжительный период преобладания положительных аномалий - с 1958 по

1983 г. и период преобладания отрицательных аномалий - с 1984 по 2005 г. Вклад коротких вторичных циклов (2-3 и 4-летних) в основную тенденцию динамики ледовитости несущественный.

2. Выявлены синхронные и асинхронные связи межгодового хода ледовитости с различными параметрами атмосферной циркуляции:

а) В фазу нарастания льда в начале зимы (декабрь-март) повышенная ледовитость наблюдается при усилении Сибирского антициклона и западном положении (от климатического) Алеутской депрессии и, наоборот, в фазу разрушения льда (апрель-май) понижение ледовитости наблюдается при ослаблении Сибирского антициклона и при восточном положении Алеутского минимума;

б) в период аномально южного положения Алеутской депрессии ледовитость Охотского моря увеличивается, а в периоды смещения депрессии в северные районы – уменьшается;

в) экстремальные ледовые условия определяются интенсивностью тропосферного полярного вихря над акваторией Охотского моря. В годы с суровыми ледовыми условиями в Охотском море тропосферный полярный вихрь активизируется над акваторией Охотского моря. В экстремально теплые зимы тропосферный вихрь ослабевает и смещается на континентальные районы;

г) с 1974 по 1990 г. характер развития ледовитости был тесно связан с повторяемостью зонального типа атмосферной циркуляции над Охотским морем, тогда как с 1991 по 2002 гг. ледовитость прямым образом зависела от меридионального типа атмосферной циркуляции;

д) установлена хорошая связь ледовитости с типизацией атмосферных процессов С.Ю. Глебовой (2003 г.) для холодного периода (январь-март) со сдвигом на 1 год, что уже используется в долгосрочном прогнозировании.

3. Проведена комплексная типизация полыней в северо-западной части моря за период с 1978 по 2005 гг. Наиболее устойчивым и часто повторяющимся является 3-й тип, подтип «сз» (1980, 1985, 1992, 1996, 1997 и 2005 гг.), когда устойчивая полынья появлялась позже среднесезонных сроков и существовала вдоль всего побережья северо-западной части Охотского моря в течение весны. В 1982, 1998 и 2001 годах полынья развивалась по этому подтипу неустойчиво. Вторым по повторяемости является 2-й тип, подтип «з» (с 2002 по 2004 г.г.), то есть, когда полынья появляется в нормальные сроки (3-я декада марта) вдоль западного побережья и устойчиво развивается.

4. Проведен анализ взаимосвязи пространственно-временной изменчивости прибрежных полыней в северо-западной части моря и атмосферной циркуляции, характеризующей динамическое и термическое состояние атмосферы:

а) процесс устойчивого расширения зон чистой воды в весенний период определяется преимущественно влиянием меридиональной составляющей общей циркуляции атмосферы над Охотским морем;

б) основную роль в формировании ранних, средних или поздних по срокам образования полыней, играют динамические (ветровые) воздействия на ледовый покров в прибрежной зоне.

5. Показано, что от распределения льда вдоль северо-западного побережья, сроков появления и особенностей пространственного развития полыней в достаточно большой степени зависит успешность воспроизводства охотской сельди. Урожайные поколения сельди формируются при *1-м и 2-м типах, «сз» подтипа* развития прибрежных полыней, когда вдоль северо-западного побережья устойчивая полынья появляется в ранние и среднемноголетние сроки (с 1-ой по 3-ю декаду марта).

Наличие полученных связей и представленной комплексной типизации сезонных особенностей ледовых процессов в основных районах нереста охотской сельди, дает возможность использования этих данных в оценке урожайности поколений рыб этой популяции.

#### Основные публикации по теме диссертации:

1. Муктепавел Л.С. Применение многоспектральной информации с ресурсного спутника «Метеор-Природа» для изучения морских льдов на примере Охотского моря // Тез. докл. Всесоюзное совещание по использованию космической информации в рыбохозяйственных целях.- пос. Ивanteeвка, Моск. обл. 1984. - С.12.

2. Муктепавел Л.С., Хен Г.В. Исследование вихрей в юго-западной части Охотского моря по данным спутников серии «Метеор» // Исследование Земли из космоса. - 1995. № 4. - С. 47-50.

3. Булатов Н.В., Муктепавел Л.С., Никитин А.М., Харченко А.М. Изучение океана в ТИНРО космическими средствами // ТИНРО-70. - Владивосток, 1995. - С. 209-218.

4. Ащепков А.Т., Муктепавел Л.С., Булатов Н.В. Использование спутниковой информации при определении сроков промысла и воспроизводства северных морских

котиков «Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы» // Тез. докл. Всесоюзной научн. конф. - Москва, апрель. 1989, - С. 39.

5. Булатов Н.В., Куренная Л.А., Муктепавел Л.С., Гербек Э.Э. Вихревая структура вод южной части Охотского моря и ее сезонная изменчивость (результаты спутникового мониторинга) // *Океанология*. - 1996. Т. 39, № 1. С. 36-45.

6. Никитин А.А., Муктепавел Л.С., Булатов Н.В., Ащепков А.Т. К вопросу влияния океанографических условий на миграции и распределения северных морских котиков в Японском море и северо-западной части Тихого океана // Тез. докл. 11-й Всероссийской конференции по промысловой океанографии, Москва, 14-18 сентября 1999 г. ВНИРО, - С. 88

7. Bulatov N.V., Nikitin A.A., Muktepavel L.S. The feature of hydrological processes in the north-western part of the Pacific ocean in 90-s (the results of satellite monitoring // abstract of CREAM'S of 1999, Fukuoka, Japan, 1999. - P. 69.

8. Azshepkov A.T., Nikitin A.A., Dyakov B.S., Muktepavel L.S., Bulatov N.V., Shatilina T.A. Oceanographically conditions of Formation of craft terms and reproduction of the northern fur seals in the Japan Sea and north-western part of the Pacific Ocean // Abstracts of CREAMS. Fukuoka, Japan. 1999. - P.37.

9. Dyakov B.S., Nikitin A.A., Muktepavel L.S. and Shatilina T.A. Variability of the Japan and Okhotsk Seas ice cover depending on the geopotential field H500 average over the Far Eastern region: PICES SCIENTIFIC REPORT, Canada, No 12, 1999. - P.19-23.

10. Dyakov B.S., Nikitin A.A., Muktepavel L.S., Shatilina T.A. Long-term variability of average troposphere and therm of waters of the Japan sea in winter: Report of CREAMS'99, Fukuoka, Japan. 1999. - P. 226 - 230.

11. Никитин А.А., Ащепков, А.Т., Муктепавел Л.С., Булатов Н.В., Б.С.Дьяков, Т.А.Шатилина, Харченко А.М. Влияние гидрологических и ледовых условий на распределение и сроки миграций северных морских котиков в Японском море и северо-западной части Тихого океана // Вторая Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии» (Экологическая физика): Тез. докл., Москва, 1999.

12. Bulatov N.V., Nicing A.A., Muktepavel L.S. The feature of hydrological processes in the northwestern part of the Pacific Ocean in 90-s (the results of satellite monitoring) // Fukuoka, Japan. 1999. - P. 31-32.

13. Dyakov B.S., Nikitin A.A., Muktepavel L.S., Shatilina T.A. Research of Link in a Course Ice and Average Troposphere over Far East: Abstracts of CREAM'S CREAMS'99. // Fukuoka, Japan. 1999. - P.34-35.

14. Ashchepkov A.T., Nikitin A.A., Muktepavel L.S. Oceanological base of distribution and seasonal migrations of Fur seals in Japan Sea // Abstract of CREAMS- 2000, May 15-16, Vladivostok. 2000. - P. 22.

15. Muktepavel L.S., Shtatilina T.A., Nikitin A.A. Reasons by abnormal ice cover in the Okhotsk Sea // Abstract of PICES 2001, CANADA. 2001. - P. 35.

16. Muktepavel L.S., Plotnikov V.V., Colony R.L. The Causes of Anomalous Ice Conditions in the Okhotsk and Bering Seas // Rproceedings of the Arctic Regional Centre. 2001, Vol.3, Dalnauka, Vladivostok, 2001. - PP.29-39.

17. Muktepavel L.S., Plotnikov V.V., Colony R.L. Variability of ice-conditions in the Sea of Okhotsk in the second half of the 20-th century // A relationship with the Bering-Chukchi Sea' system: Abstracts of report of Workshop on Sea Ice Extent and the Global Climate System Toulouse 2002, France, 2002. - P.15.

18. Шатилина Т.А., Никитин А.А., Муктепавел Л.С. Особенности атмосферной циркуляции при аномальных океанологических условиях в Японском, Охотском морях и прилегающей части Тихого // Известия ТИНРО, 2002, Т. 130. - С. 79-94.

19. Muktepavel L.S. Colony R. Variance and Covariance of ice Conditions in the Sea of Okhotsk, Bering and Chukchi Seas. // report of Conference AGU (American Geophysical Union) San Francisco, 2003.- P.123-126.

20. Vasilevskaya L.N., Muktepavel L.S., Tzuravleva T.M. About the connection of ice processes of the Okhotsk and Bering Seas // Proceeding of the Third Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas, No 26, 2004. - P. 114-115.

21. Muktepavel L.S. The influence of spatial-temporary variability of shore polynias on of herring stocks in the northern Sea of Okhotsk. // Report (№ 3234) of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment: Proceeding of. St. Petersburg, 2005.

22. Муктепавел Л.С., Василевская Л.Н. Связь между центрами действия атмосферы и ледовыми условиями в Охотском, Беринговом и Чукотском морях // Труды Арктического регионального центра. Вып. 4, Владивосток, Дальнаука, 2006. – С.34-45

23. Муктепавел Л.С., Пространственно-временная изменчивость прибрежных в основных районах нереста охотской сельди // Вопросы промысловой океанологии. Москва, ВНИРО, 2006 в печати.

Муктепавел Лариса Станиславовна



**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ  
ОХОТСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 25.00.28 – океанология

**Автореферат**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук**

Подписано к печати 22.12.2006

Формат 60 x 84/16

Уч.-изд. л. 1

Тираж 100 экз. Заказ № 31

---

Отпечатано в типографии издательства ТИНРО-Центра  
690600, г. Владивосток, ул. Западная, 10

Уважаемые коллеги,

отзывы на автореферат, прошу выслать на Факс: (4232) 300 751

Email: [Larisamk@tinro.ru](mailto:Larisamk@tinro.ru)

или по адресу: 690950, г. Владивосток, ГСП, пер. Шевченко 4, ТИНРО-Центр

Л.С. Муктепавел