

На правах рукописи

Аверкиев Александр Сергеевич

**Закономерности реакции верхнего слоя в промысловых и прибрежных  
районах морей России на атмосферное воздействие**

Специальность 25.00.28 – океанология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора географических наук

Санкт-Петербург

2013

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете

Официальные оппоненты:

Родин Александр Васильевич, доктор географических наук, советник генерального директора, ООО Тихоокеанская рыбопромышленная компания, г. Москва.

Тимохов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург.

Чернышков Павел Петрович, доктор географических наук, профессор, Балтийский федеральный университет им И. Канта, г. Калининград.

Ведущая организация Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО) г. Мурманск

Защита состоится 26 сентября 2013г на заседании Диссертационного совета Д 212.197.02 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196 Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГМУ по адресу: Санкт -Петербург, Малоохтинский пр., 98

Автореферат разослан 20 августа 2013г

Ученый секретарь диссертационного совета

Воробьев  
Владимир Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Механизмы влияния гидродинамических процессов в атмосфере и океане на биоту (животные и растительные организмы, промысловые виды) представляют большой научный и практический интерес, но исследуются с помощью моделирования реже, чем собственно гидрометеорологические связи и процессы.

Рациональное использование водных биоресурсов и оценка их запасов на всех стадиях развития является частью стратегической задачи обеспечения продовольственной безопасности населения РФ. Исследование и воспроизведение закономерностей влияния гидрометеорологических факторов на морские биологические объекты методами моделирования позволяет понять причинно-следственные связи этих влияний и использовать их для прогнозирования процессов воспроизводства и рационального использования ресурсов морей и океанов.

Объектами данного исследования являются наиболее важные для промысла и морской деятельности России Охотское, Баренцево и Балтийское моря. В последние десятилетия негативное антропогенное воздействие на эти моря значительно выросло из-за смещения промысла из открытого океана в Исключительную Экономическую зону (ИЭЗ) РФ, из-за изменения интенсивности мореплавания, роста объемов добычи и транспортировки в море энергоресурсов (Г.Г. Матишов и др., 2007). Моделирование позволяет рассчитывать влияние факторов среды на изменения запасов промысловых видов, учитывая возросшую нагрузку на морские экосистемы.

Дрейфовые течения в верхнем слое моря, возникающие под атмосферным воздействием, являются основным фактором, определяющим распределение пассивных гидробионтов. Другим важным элементом гидрологического режима в прибрежных акваториях, влияющих на биологические объекты, промысел, судоходство, гидротехнические объекты, являются значительные колебания уровня вследствие штормовых нагонов. Именно этим двум механизмам посвящены основные разделы данного исследования.

Изменения в климатической системе Земли, происходящие в последние десятилетия, приводят к обострению процессов в океане и атмосфере. Аномальные и экстремальные гидрометеорологические условия наблюдаются редко, но оказывают существенное (иногда решающее) влияние на гидрологический режим, биологические объекты и прибрежные зоны. Исследование и модельное воспроизведение воздействия гидрометеорологических факторов на биолого-промысловые показатели верхнего слоя моря в промысловых и прибрежных акваториях как при нормальных, так и при аномальных условиях является актуальной задачей теоретической и прикладной океанологии.

**Цель диссертационной работы.** Исследование с помощью математического моделирования закономерностей реакции верхнего слоя на атмосферное воздействие: формирование дрейфовой циркуляции и распределения важных промысловых объектов на пассивных стадиях развития в Охотском и Баренцевом морях, формирование зон высокой первичной продуктивности в Баренцевом море, формирование экстремальных колебаний уровня в Балтийском море.

**Основные задачи,** поставленные и решенные для достижения этой цели:

- создание программного комплекса для моделирования циркуляции и переноса пассивных гидробионтов в верхнем слое моря под действием атмосферной циркуляции;

- воспроизведение циркуляции в верхнем слое Охотского моря, анализ влияния циркуляции на распределение икры и личинок минтая в конце пассивной стадии развития, оценка влияния распределения на дальнейшее формирование урожайных поколений минтая в Охотском море;

- расчет влияния динамических и термических условий в верхнем слое в аномальные годы на распределение икры и личинок трески в смежной акватории Норвежского и Баренцева морей;

- воспроизведение и анализ механизма разрушения термоклина и поступления глубинных вод, обеспечивающих формирование зоны повышенной первичной продуктивности, в районе поднятия дна в Баренцевом море при прохождении над акваторией активного циклона;

- определение критических значений параметров и траекторий циклонов, приводящих к экстремальным колебаниям уровня в заливах Балтийского моря; разработка метода аналитического задания параметров и траекторий экстремальных циклонов для моделирования наиболее опасных колебаний уровня в заливах Балтийского моря;

- моделирование формирования нагонной волны и экстремальных колебаний уровня в заливах при прохождении наиболее опасных циклонов над регионом Балтийского моря.

Для каждой задачи описаны использованные модели и источники данных, представлены постановка задачи и алгоритм решения, результаты моделирования, практические выводы и научные результаты.

**Область исследования.** Исследование выполнено в области, соответствующей шифру специальности 25.00.28 – океанология: раздел 3 - динамические процессы (волны, вихри, течения, пограничные слои) в океане; раздел 6 - биологические процессы в океане, их связь с абиотическими факторами среды и хозяйственной деятельностью человека, биопродуктивность районов Мирового океана.

**Объект исследования.** Динамические, физические и биологические процессы в морях России: Охотском, Баренцевом и Балтийском. Динамическое и термическое состояние верхнего слоя моря формируется под воздействием атмосферных процессов, поэтому во всех представленных задачах определяющими факторами являются атмосферное давление и ветер.

**Предмет исследования.** Гидрофизические и биологические процессы в верхнем слое моря, возникающие в результате воздействия атмосферной циркуляции, а именно:

- формирование дрейфовой циркуляции в верхнем слое Охотского моря под воздействием атмосферной циркуляции и перенос икры и личинок минтая в зависимости от рассчитанных течений за ряд лет, распределение личинок минтая в конце периода расчета для каждого рассмотренного года;

- формирование поверхностных течений в смежной акватории Норвежского и Баренцева морей под воздействием атмосферной циркуляции и пере-

нос и распределение икры и личинок трески в зависимости от рассчитанных течений в аномально теплый и аномально холодные годы;

- разрушение термоклина над поднятием дна при прохождении атмосферного циклона над Баренцевым морем, приводящее к подъему глубинных вод, содержащих биогенные элементы, и образование зоны повышенной биопродуктивности в рассмотренной акватории;

- максимальные (до катастрофических) подъемы уровня при прохождении экстремальных циклонов над Балтийским морем. Определение и уточнение траекторий и значений параметров циклонов, наиболее опасных для экстремальных подъемов и опусканий уровня в Финском заливе.

**Теоретическая и методологическая основа исследования.** В данном исследовании и ряде работ автора предложены способы и методология решения прикладных и региональных задач, касающихся механизмов влияния гидрометеорологических факторов на промыслово-биологические процессы в верхнем слое моря с помощью гидродинамического моделирования. Представленные исследования выполнены как лично автором, так и в соавторстве и под руководством автора.

В целом механизмы влияния гидрометеорологических условий на образование продуктивных зон в море, на формирование урожайных поколений промысловых видов известны (Л.М.Зверькова, 2003). Математическое моделирование механизмов и количественная оценка взаимосвязи гидрометеорологических факторов и биолого-промысловых показателей выполнялись в отечественных и иностранных исследованиях реже (F.Vikebo and oth., 2005). Особенно важно понимание и воспроизведение механизмов взаимосвязи гидрометеорологических факторов и промыслово-биологических показателей в условиях современного изменения климата, при аномальных и экстремальных условиях в атмосфере и в верхнем слое моря. Причины и механизмы колебаний уровня в Балтийском море исследуются давно и достаточно хорошо изучены; имеются расчеты и оценки влияния колебаний уровня на прибрежные сооружения, наводнения оперативно прогнозируются. В данном случае для расчета макси-

мальных колебаний при экстремальных циклонах предложено аналитическое задание поля атмосферного давления в циклоне.

**Информационная база исследования.** Информационную базу исследования составляли открытые архивы данных и карт, как на бумажных, так и на электронных носителях. Поля атмосферного давления и ветра получены из следующих источников. Архив приземных синоптических карт ААНИИ (отдел долгосрочных метеорологических прогнозов). Архив приземных синоптических карт РГГМУ (кафедра метеорологических прогнозов). Данные по температуре и солености на стандартных разрезах Норвежского и Баренцева морей предоставлены ПИНРО. Спутниковые снимки получены из электронного ресурса AQUA MODIS и других интернет-ресурсов.

**Научную новизну** составляют основные результаты исследования, полученные *впервые*.

Разработана методология воспроизведения течений и распространения пассивных гидробионтов в верхнем слое в бассейнах Охотского и Баренцева морей с применением сформированного программного комплекса.

Получена оценка интенсивности течений и распределения пассивных гидробионтов в верхнем слое Охотского моря на основе предложенной автором методики оценки с помощью индексов интенсивности циркуляции.

В результате моделирования циркуляции и переноса пассивных гидробионтов в верхнем слое Баренцева и Норвежского морей установлено, что дрейфовая компонента скорости течения осуществляет характерный для конкретного года перенос и распределение пассивных гидробионтов, а геострофическая компонента осуществляет общий перенос близкий к среднему многолетнему. Наиболее отчетливо влияние атмосферной циркуляции и дрейфовой компоненты течения проявляется в аномально холодные и аномально теплые годы.

Установлен и воспроизведен в численных экспериментах механизм разрушения термоклина и подъема глубинных вод над банкой в Баренцевом море, обеспечивающий формирование биопродуктивной зоны, при прохождении атмосферных циклонов.

Определена совокупность значений параметров экстремальных циклонов и наиболее опасных траекторий их движения, приводящая к максимальным подъемам уровня в заливах Балтийского моря.

Предложен метод аналитического задания поля атмосферного давления для моделирования экстремального циклона, приводящего к максимальным колебаниям (подъемам и спадам) уровня в заливах Балтийского моря.

Выявлено повышение среднемесячных значений уровня в Невской губе за последние три десятилетия по сравнению со значениями за предыдущие 100 лет, возникающее из-за смещения траекторий циклонов проходящих над Балтийским регионом.

Установлено, что при прохождении экстремального циклона над Финским заливом может произойти катастрофическое наводнение с максимальной высотой нагонной волны до 580 см в районе Горская – Сестрорецк при открытых створах КЗС и выше 600 см при закрытых створах КЗС.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты моделирования циркуляции и переноса пассивных гидробионтов в верхнем слое Охотского, Баренцева и Норвежского морей, в том числе при аномальных условиях.

2. Методика сравнительной оценки интенсивности течений в верхнем слое Охотского моря с помощью индексов циркуляции

3. Результаты моделирования механизма разрушения термоклина и подъема глубинных вод над банкой в Баренцевом море при прохождении активных атмосферных циклонов.

4. Результаты моделирования экстремальных циклонов, вызывающих максимальные подъемы уровня в заливах Балтийского моря.

5. Закономерности распространения нагонной волны в Балтийском море и заливах во время прохождения экстремального циклона.

6. Количественные оценки дополнительного подъема уровня при экстремальных наводнениях в Финском заливе с учетом работы КЗС.

**Практическая значимость исследования.** Моделирование механизмов и связей в морских экосистемах способствует рациональному использованию



биологических, энергетических и других ресурсов моря. Исследование зависимости распределения икры и личинок важнейших промысловых объектов - трески и минтая - от динамики верхнего слоя моря позволяет оценить возможность формирования урожайного поколения конкретного года и, следовательно, спланировать рациональный вылов и определить общий допустимый улов (ОДУ) этих видов. Промысловые виды на пассивных стадиях развития в первый год жизни наиболее подвержены воздействию факторов среды. Моделирование распределения личинок промысловых видов в конце пассивной стадии дает конкретный ответ на вопрос – попали личинки в благоприятные условия (или район моря) или оказались в неблагоприятных условиях. В первом случае можно ожидать формирования урожайного поколения и значительного пополнения запаса вида за счет этого поколения, учитывая при этом, что в последующие годы другие факторы могут негативно повлиять на запас вида. Во втором случае невозможно ожидать формирования урожайного поколения, т.к. личинки и молодь попали в условия, когда их численность в предстоящий зимний период существенно сократится. Наиболее отчетливо такие связи проявляются в сезоны и годы с аномальными условиями. Исследование влияния условий циркуляции на распределение пассивных гидробионтов проводились в совместных работах автора с СахНИРО и ПИНРО. Разработанный программный комплекс, метод расчета переноса гидробионтов, оценка интенсивности циркуляции с помощью предложенных индексов могут быть рекомендованы для долгосрочного прогноза вероятного распределения икры и личинок и дальнейшей оценки урожайности формирующегося поколения, если подобран год-аналог по характеру атмосферной циркуляции и интенсивности дрейфового переноса.

Диагностика биологически продуктивных зон имеет практическое значение для планирования деятельности добывающих организаций, т.к. позволяет определить потенциально промыслово-продуктивные акватории и соответственно спланировать работу добывающих судов. Методы контактного и дистанционного зондирования в штормовых условиях и при значительной облачности затруднены или дают ненадежные результаты, а использование их совместно с

методами моделирования позволяет вести непрерывный мониторинг биопродуктивных зон. Часть работ этого раздела выполнена в рамках совместного российско-норвежского проекта MAREBAS, направленного на повышение эффективности использования биоресурсов Баренцева моря.

Экстремальные непериодические колебания уровня в Балтийском море и его заливах влияют на компоненты экосистемы и на многие виды хозяйственной деятельности (морской транспорт, строительство и эксплуатация портов и гидротехнических сооружений, рыболовство и аквакультура, добыча и транспортировка энергоресурсов, рекреационная активность). Рассчитанные в модельных экспериментах и представленные в работе возможные экстремальные значения уровня, значения параметров и траектории экстремальных циклонов, приводящих к таким колебаниям уровня, необходимы для оперативного прогнозирования и принятия мер безопасности при наводнениях. Завершение строительства и функционирование КЗС в Невской губе не снизило практической значимости подобных расчетов, т.к. для своевременного закрытия и открытия КЗС необходимы точное знание и надежный прогноз временного хода уровня в периоды наводнений. Кроме того сохраняется опасность штормовых нагонов и спадов уровня в других заливах и частях Балтийского моря.

Разработки, выполненные в данной диссертационной работе, используются в учебном процессе РГГМУ, в дисциплинах, читаемых на океанологическом факультете, в дипломных проектах и магистерских диссертациях.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты, изложенные в диссертации, были представлены и доложены на III Съезде советских океанологов. Секция физики и химии океана. Ленинград, 1987; на Международных и Всероссийских конференциях по промысловой океанологии (Калининград, 1990; Калининград, 1997; Светлогорск-Калининград 2005; 2008; 2011); на Всероссийской конференции "Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса" (Астрахань, 1994); на Российско - Норвежском совещании (Санкт-Петербург, ААНИИ, 1995); на Конференциях по проблемам промыслового прогнозирования (Мурманск, 1998; 2004); на Итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ (Санкт-Петербург. 1999, 2001, 2002, 2003, 2004); на

Российско-Норвежском симпозиуме, посвященном 100-летию океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» (Мурманск, 1999); на Конференции «Аква-terra-2004», Санкт-Петербург, 2004; на Международных Балтийских Конгрессах по морским наукам Baltic Sea Science Congress (BSSC 2007 Rostock (г. Росток, Германия); BSSC 2009 Tallinn, (г.Таллинн, Эстония); BSSC 2011 Санкт-Петербург); на Международном экологическом форуме “День Балтийского моря”, Санкт-Петербург (2008; 2009, 2011); на Международном симпозиуме «Effects of Climate Change on the World’s Oceans». May 19-23, 2008, Gijon (г. Хихон, Испания); на Международной научной конференции «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/2008» (Санкт-Петербург, АНИИ, 2010); на Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биоресурсов Мирового океана» (Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010); на Международной конференции «Потоки и структуры в жидкостях: физика геосфер» (Владивосток, 2011).

Результаты работы также отражены в отчетах по Международным проектам, проектам РФФИ и Федеральным целевым программам. “Maritime Resources of the Barents Sea: Satellite data driven monitoring in the context of increase of commercial efficiency of the fishery” (MAREBAS), совместный проект “Nansen Environmental and Remote Sensing Center” (NIERSC Норвегия) и РГГМУ. “Flood Risk Analysis for the Gulf of Finland and Saint Petersburg”, project NATO Science for Peace. SfP № 981382, 2007-2009. Физические основы численного моделирования наводнений в Санкт-Петербурге, проект РФФИ № 09-05-01125-а, 2009-2011. Исследование процессов формирования колебаний уровня Балтийского моря, проект РФФИ № 11-05-90721-моб\_ст, 2011.

ФЦП «Мировой океан», 01 2008 53997, «Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Балтийского моря», ФА по науке и инновациям Минобрнауки РФ, 2007-2009. АВЦП ФА по образованию Минобрнауки РФ «Оценить последствия повышения уровня океана в условиях современных изменений климата», 01 2009 52623, «Прогноз», 2009.

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 55 научных работах, в том числе в коллективной монографии и в 8 статьях в научных журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК. Результаты вошли в 3 учебных пособия, подготовленных и изданных в соавторстве.

**Объем и структура работы.** Работа состоит из 5 глав, введения, заключения и списка использованных источников, включающего 217 наименований. Объем диссертации составляет 228 страниц, включая 69 рисунков и 7 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** дан краткий обзор гидродинамических моделей, применяющихся в теоретических и прикладных океанологических исследованиях. Гидродинамические модели успешно применяются для анализа и прогноза океанологических параметров как на океанских акваториях, так и в прибрежных водах, где сосредоточена основная морская деятельность. В отечественных исследованиях наибольшее развитие получили модели бароклинной циркуляции океана, например модели А. С. Саркисяна и модели, разработанные в ИВМ РАН. В последнее десятилетие с помощью моделей оперативной океанографии, разработанных на основе этих подходов, решаются задачи четырехмерного анализа и прогноза состояния океанов и морей с разной степенью детализации. Большинство современных зарубежных теоретических и прикладных исследований производится с применением моделей океанской циркуляции POM (Princeton Ocean Model) или ROMS (Regional Ocean Model Sistem). Используются также версии модели общей циркуляции океана Брайна, Семтнера и Кокса – модель MOM (Modular Ocean Model). Версии этих трехмерных моделей с высоким пространственным разрешением используются в частности в работах норвежских авторов, уделяющих большое внимание биолого-промысловым исследованиям. В отечественных рыбопромысловых научных исследованиях в течение длительного времени преобладали физико-статистические методы, особенно при прогнозировании гидрометеорологиче-

ских условий и промысловой обстановки в конкретной акватории. В то же время, гидродинамическое моделирование в рыбопромысловых исследованиях оказывается полезным и необходимым для выяснения влияния гидрометеорологических условий на биологические показатели и промысловые объекты, для исследования механизмов поступления биогенных элементов в верхние слои и формирования зон повышенной биологической и промысловой продуктивности, для расчетов распределения фитопланктона или икры и личинок промысловых видов рыб.

Именно выявлению механизмов взаимосвязи между гидрометеорологическими факторами – давлением, ветром, температурой, скоростью течений, уровнем - и биолого-промысловыми показателями в морских экосистемах методами математического моделирования посвящены исследования, представленные в главах 2-4. Применялись в основном известные модели и методы численной реализации, которые были адаптированы для решения конкретных задач в промысловых и прибрежных акваториях Охотского, Баренцева и Балтийского морей.

В **главах 2 и 3** представлены результаты моделирования динамических условий в верхнем слое моря и переноса икры и личинок минтая или трески в годы со средними климатическими условиями и в аномальные годы. Минтай Охотского моря и норвежско-баренцевоморская треска являются важнейшими промысловыми объектами и ключевыми компонентами экосистем Охотского и Баренцева морей. Одним из важных этапов развития видов являются ранние стадии, когда икра и личинки представляют собой пассивные объекты, которые в наибольшей мере зависят от термических и динамических условий окружающей среды. Попадание личинок к концу пассивной стадии в благоприятные или неблагоприятные условия определяет возможность формирования урожайного или неурожайного поколения. Моделирование гидрологических условий для ряда лет в период от нереста до стадии мальков, способных передвигаться самостоятельно, позволяет сделать вывод о будущем состоянии поколения данного года. На последующих этапах жизненного цикла на сформировавшееся поколение действуют другие, в том числе негативные факторы, по-

этому попадание в благоприятные условия или в нужный район моря в конце пассивной стадии развития вида является условием необходимым, но не достаточным, для формирования урожайного поколения. Задача моделирования переноса пассивных гидробионтов необходима для анализа дальнейшего развития поколения вида и формирования его запаса, и может служить основой для долгосрочного прогнозирования или, по крайней мере, для предварительной оценки будущего промыслового запаса.

Одним из главных факторов, определяющим динамическое и термическое состояние верхнего слоя моря и условия формирования биологической и промысловой продуктивности, является атмосферная циркуляция. В частности, перенос и распределение пассивных гидробионтов – икры и личинок минтая или трески, происходит в верхнем слое моря под действием течений, формируемых атмосферным воздействием и полем плотности. В наших расчетах, как принято в гидродинамических моделях, атмосферное воздействие воспроизводится заданием полей атмосферного давления и ветра.

Для решения задачи о распределении личинок промысловых видов рыб был разработан программный комплекс (А.С.Аверкиев, М.И. Масловский, 1990, Аверкиев и др., 1991), состоящий из блока расчета толщины верхнего перемешанного слоя (ВПС), блока расчета скорости течения и блока расчета переноса примеси методом маркеров. Для расчета скорости течения в Охотском море (**глава 2**) применена интегральная модель циркуляции, основанная на решении системы двух уравнений относительно функции тока полных потоков  $\psi(x, y)$  и функции завихренности полных потоков  $\omega(x, y)$ .

Для расчета переноса пассивных гидробионтов в третьем блоке программного комплекса применен метод маркеров, в котором перемещения частиц отслеживаются с помощью лагранжевых переменных - координат частиц. Траектории частиц примеси складываются из перемещения в «среднем» потоке, определяемом полем скорости течения  $(u, v)$  и случайных перемещений. При численном моделировании приращение траектории частицы  $\Delta x_{imk}$  за один шаг по времени можно записать в виде

$$\Delta x_{imk} = U_{im} \cdot \Delta t + \eta_{imk} \quad (1)$$

где  $\eta_{imk}$  – приращение траектории за счет случайного турбулентного смещения;  $i$  – номер координаты;  $m$  – номер временного шага;  $k$  – номер частицы. Величины этих случайных перемещений определяются на основе параметризации турбулентного смещения (К. Боуден, 1988), а направления формируются случайным образом (в программе задаются генератором случайных чисел).

Расчет циркуляции верхнего слоя в Охотском море производился за ряд лет с 1981 по 2000 гг. для периода февраль- август, а расчет переноса икры и личинок минтая для периода март-август. Для сравнительного анализа режима циркуляции в ВПС был предложен и использован индекс, значения которого изменялось от +3 до -3, в зависимости от преобладания антициклонического (+) или циклонического (-) характера движения в ВПС на каждом временном шаге (пентада, декада или месяц). Выпуск маркеров, имитирующих скопление гидробионтов, производился в местах основного нереста минтая (рис.1). Попадание личинок минтая в благоприятные или неблагоприятные условия определялось подсчетом количества маркеров, попавших в конце расчета в тот или иной район моря (и процентного отношения от общего количества вброшенных маркеров). Известно (Л.М. Зверькова, 2003), что благоприятными условиями для личинок минтая к концу пассивной стадии являются распределение их на северном шельфе или на Сахалинском шельфе (район 2 на рис.1). В гидробиологических исследованиях показано, что период 80-х - начала 90-х гг. был, в целом, благоприятным для воспроизводства охотоморского минтая по сравнению периодом падения запаса в конце 90-х и начале 2000-х гг. Наши расчеты показали, что в 80-х и начале 90-х гг. колебания запасов определялись главным образом естественными факторами среды, в частности дрейфовой циркуляцией, формирующей распределение личинок в конце пассивной стадии. На рис.2 представлено сопоставление количества маркеров, попадавших в район 2 к августу, и нерестового запаса минтая через 5 лет. Так, после выноса значительной части личинок в конце лета с Сахалинского шельфа и из северных районов (например в 1991- 1992, и 1994-1996гг) с большой вероятностью

формировались слабые (или бедные) поколения, и через 4-5 лет наблюдалось снижение запаса (1995-2000гг).

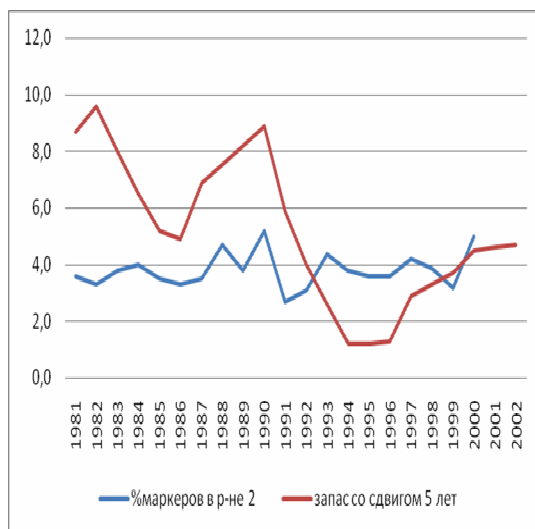
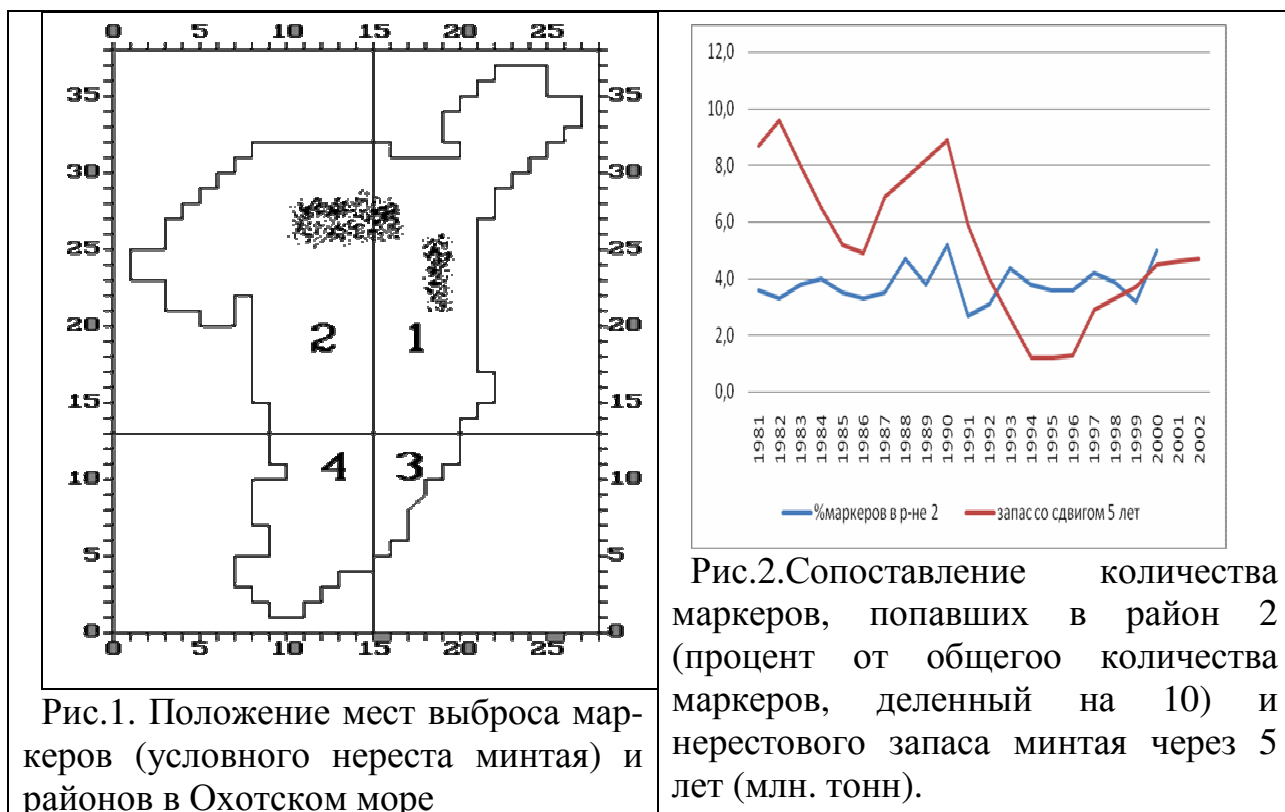


Рис.2.Сопоставление количества маркеров, попавших в район 2 (процент от общего количества маркеров, деленный на 10) и нерестового запаса минтая через 5 лет (млн. тонн).

Напротив, благоприятное распределение получено в расчетах для 1988-1990гг., и через 4-5 лет наблюдалось увеличение запаса минтая (в 1995г отмечен максимальный запас за последний 20-летний период).

В главе 3 приведены результаты моделирования переноса икры и личинок другого важного промыслового вида – трески. Программный комплекс был модифицирован и адаптирован для расчетов в акватории Норвежского и Баренцева морей. Скорость течения в верхнем слое рассчитывалась как сумма дрейфовой и геострофической составляющей. Это позволило оценить вклад этих двух составляющих скорости течения в суммарный перенос икры и личинок трески. Для подсчета количества гидробионтов, попавших в различные части акватории (что определяет благоприятные и или неблагоприятные условия зимовки молоди), район исследования был разбит на несколько квадратов (рис.3).



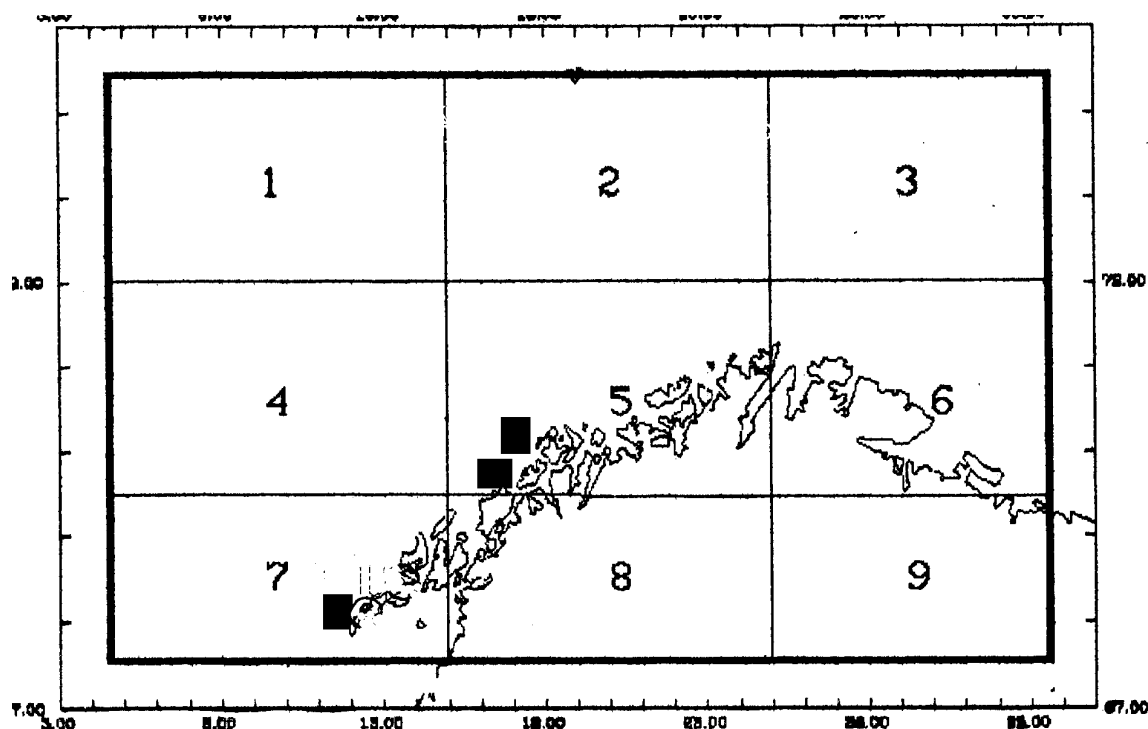


Рис.3. Область моделирования переноса икры и личинок трески и места выброса маркеров, имитирующих нерест трески.

В результате численных экспериментов показано, что именно дрейфовая циркуляция определяет динамические особенности конкретного года и характерное распределение пассивных гидробионтов на рассматриваемых акваториях. Очевидно, что особенно ярко это проявляется в годы с аномальными циркуляционными и термическими условиями. Были рассмотрены и воспроизведены циркуляция и перенос икры и личинок трески в аномально холодный 1978г. и аномально теплые 1983 и 1986 гг. В теплые годы практически все маркеры, имитирующие икру и личинки, достигают южной части Баренцева моря, что является благоприятными условиями для формирования урожайного поколения трески. Напротив, в холодный год абсолютное большинство личинок в конце периода пассивного дрейфа не достигает Баренцева моря (см. таблицу), и после такого года формируется бедное поколение.

Таблица.

Распределение маркеров в условных районах моделируемой области в процентах на конец расчета (конец августа) в аномальные по термическим условиям годы.

| № квадрата или граница района | 1978г<br>холодный | 1983г<br>теплый | 1989г<br>оч. теплый |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|
| 1                             | -                 | 13.0            | -                   |
| 4                             | 5.0               | -               | -                   |
| 5                             | 84.0              | 0.7             | 9.3                 |
| 6                             | 8.0               | 26.0            | 17.0                |
| Восточная граница             | -                 | 60.0            | 72.0                |

Важным объектом промыслово-океанологических исследований и компонентом морских экосистем являются биологически продуктивные зоны, то есть акватории, где в силу гидрофизических процессов обеспечивается устойчивое поступление в верхние слои биогенных элементов, необходимых для образования первичной продукции. Показателем таких зон является высокое содержание хлорофилла-А, которое фиксируется как данными контактных наблюдений, так и неконтактными методами зондирования морских акваторий. Высокое содержание первичных продуцентов органического вещества обеспечивает в таких зонах возможность дальнейшего функционирования всех уровней трофической цепи, вплоть до формирования рыбопромысловых скоплений. Мониторинг и прогнозирование положения подобных зон является практически важным для осуществления эффективного рыболовства и рационального использования морских биоресурсов. Баренцево море в целом является высокопродуктивным бассейном, при этом в нем имеются ярко выраженные и возобновляемые биологически продуктивные зоны. Основным механизмом поступления питательных веществ в верхний слой в Баренцевом море является перемешивание при зимней конвекции, и этот механизм изучен достаточно хорошо. В главе 4 исследуется механизм вторичного летнего образования зон высокого содержания фитопланктона. Из данных контактных наблюдений, снимков в видимом и инфракрасном диапазонах следует, что вторичные максимумы образования фитопланктона наблюдаются не одновременно и не повсеместно по акватории моря, поэтому, хотя механизмы формирования таких локальных зон повышенной продуктивности в принципе известны (Д. Е. Гер-

шанович и др., 1990), их моделирование представляет большой теоретический и практический интерес. Одна из таких зон повышенной продуктивности наблюдается регулярно в районе банки Гусиная, что фиксируется судовыми и дистанционными наблюдениями за температурой и концентрацией хлорофилла в этой части Баренцева моря и подтверждается спутниковыми снимками (некоторые приведены в главе 3). Формирование зоны высокой первичной продукции приводит далее к образованию скоплений зоопланктона, промысловых скоплений рыб, и в результате формируется важный промысловый подрайон. На трехмерной модели с достаточно высоким разрешением по пространству и по времени, разработанной с помощью программного комплекса CARDINAL (К.А. Клеванный и др. 2009.), был воспроизведен процесс разрушения термоклина над банкой Гусиная и подъем глубинных вод с существенно пониженной температурой и с повышенным содержанием биогенных веществ. Гидрофизические процессы воспроизводились на ограниченной акватории, что потребовало задания граничных условий, которые были предоставлены сотрудниками Нансен-центра (г.Берген, Норвегия) из более общей модели циркуляции Баренцева и Норвежского морей. Моделирование производилось для периода 20-30 августа 2004г, когда спутниковые снимки фиксировали повышенное содержание хлорофилла-А и область пониженной температуры воды на поверхности в районе банки. Показано, что в начальный момент на всей рассматриваемой акватории наблюдается устойчивая стратификация с перемешанным слоем и хорошо выраженным термоклином на глубине 20-30 м, препятствующим поступлению в верхний слой глубинных вод, содержащих необходимые для фотосинтеза биогенные вещества. При прохождении над акваторией активного, быстрого, но небольшого по площади («арктического») циклона над банкой Гусиная формировалось вихревое образование, происходило разрушение термоклина и подъем вод с глубин от 50 до 300м. При моделировании это отчетливо проявляется в виде формирования пятна холодной воды с температурой, которая может быть только у вод, поступивших с глубины. На рис. 4. приведено рассчитанное распределение температуры на широтном разрезе, пересе-

кающем берегу и прилегающие впадины, до прохождения циклона 21.08.2004 и после прохождения 25.08.2004.

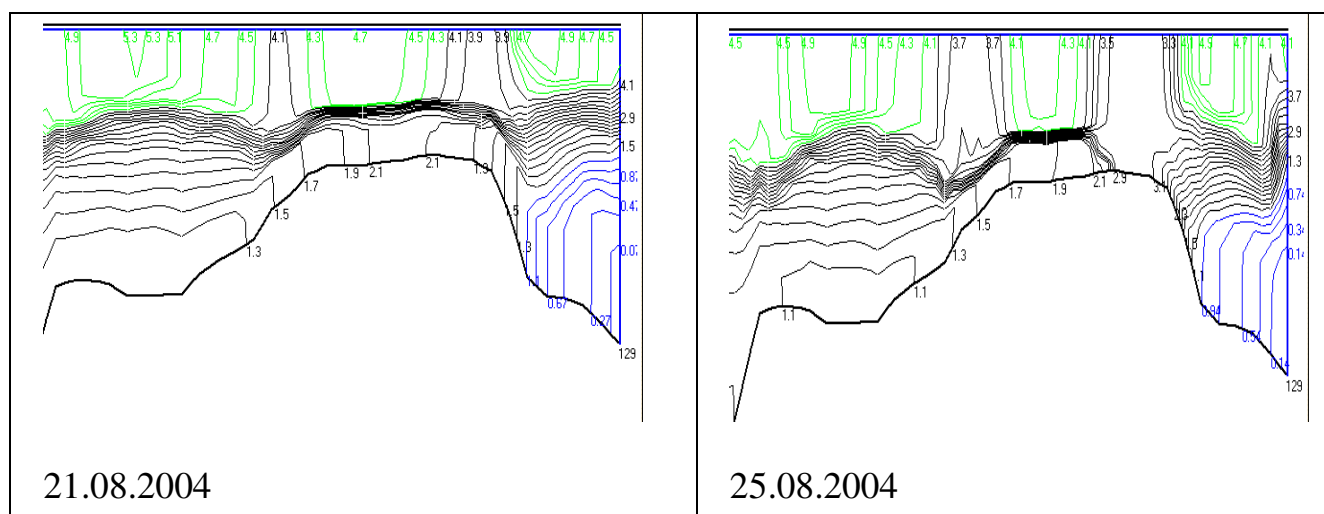


Рис.4. Рассчитанное распределение температуры воды на широтном разрезе, проходящем над банкой Гусиная до и после прохождения циклона.

Отчетливо видно, что во втором случае над банкой образуется практически полностью перемешанная вода с температурой 2.8-3.0°C. Эта вода образовалась в результате смешения воды верхнего слоя и воды со склонов, которая содержит биогенные вещества необходимые для образования первичной продукции. Через 2-3 суток после прохождения циклона устойчивая стратификация восстанавливается; ситуация периодически повторяется при возобновлении циклонической деятельности над акваторией, обеспечивая практически постоянное существование здесь высокопродуктивной зоны.

В главе 5 рассмотрен ряд задач моделирования экстремальных колебаний уровня в Балтийском море и заливах при прохождении активных циклонов. Экстремальные колебания уровня в море и мелководных заливах существенно влияют как на гидрологический режим, так и на биоту бассейна. Очевидно также влияние экстремальных колебаний уровня на навигацию, рыболовный промысел, функционирование гидротехнических сооружений и другие виды деятельности в мелководных акваториях и их побережьях. Разработка методов прогнозирования наводнений в Невской губе проводится более 100 лет. Достаточно хорошо изучены траектории циклонов, приводящих к подъемам уровня в Санкт-Петербурге и других городах на побережье Балтийского моря. Оперативный прогноз наводнений и колебаний уровня с помощью тра-

диционного синоптического метода и с помощью гидродинамических методов осуществляется как в России (С-Петербурге), так и в Швеции, Финляндии, Германии, Эстонии и других странах. При этом моделирование экстремальных циклонов и анализ возможных колебаний уровня, которые имеют малую и очень малую повторяемость, является важной задачей прикладной и теоретической океанологии. Кроме того, после завершения строительства и ввода в строй Комплекса защитных сооружений С-Петербурга от наводнений (КЗС) вполне обоснованно возникли опасения, что в случае значительного подъема уровня и при полном закрытии всех судо- и водопропускных сооружений (С1, С2, В1-В6) возникнет дополнительная угроза затопления для населенных пунктов вне КЗС в Финском заливе. Решение актуальной задачи моделирования экстремальных подъемов уровня и возможного дополнительного подъема вне КЗС представлено в главе 5. С помощью модифицированного варианта комплекса CARDINAL исследованы возможные экстремальные (критические) значения параметров и опасные траектории циклонов, приводящих к максимальным подъемам и спадам уровня в Балтийском море, Финском и Рижском заливах. Для воспроизведения экстремальных колебаний уровня и широкого спектра изменения параметров и траекторий циклонов оказалось недостаточно использовать только фактически наблюдавшиеся поля атмосферного давления при прохождении активных циклонов. Был разработан и применен при выполнении массовых численных экспериментов метод аналитического задания поля атмосферного давления и ветра в окрестности циклонов.

Поле давления в активном циклоне может быть задано с помощью соотношения, предложенного в (М. Миязаки, и др. 1964) для тайфунов

$$P'_a(\vec{r}) = P_\infty - \frac{\Delta P}{\sqrt{1 + \left(\frac{\vec{r}}{r_T}\right)^2}} \quad (2)$$

где  $P'_a$  – приземное атмосферное давление на расстоянии  $\vec{r}(t)$  от центра циклона  $x_c(t), y_c(t)$ ,  $P_\infty$  – давление на достаточном удалении от центра, где влияние циклона не прослеживается,  $\Delta P$  – разность давлений между изобарой, где

$P'_a = P_\infty$  и центром циклона,  $r_T$  – радиус, на котором скорость ветра максимальна.

Для учета изменения во времени давления в центре («глубины») циклона на основе анализа фактического развития нескольких «наводненческих» циклонов последних лет было получено и применено выражение

$$\Delta P(t) = \Delta P_0 \cdot \exp\left(-\left[\frac{t-T_0}{\Delta T}\right]^2\right) \quad (3)$$

где  $\Delta P_0$  – градиент давления, рассчитанный по формуле (2),  $T_0$  – момент наибольшего углубления циклона (этот параметр вместе со скоростью перемещения циклона и начального положения центра определяет координаты точки, где циклон наиболее интенсивен),  $\Delta T$  – параметр, определяющий характерное время существования циклона.

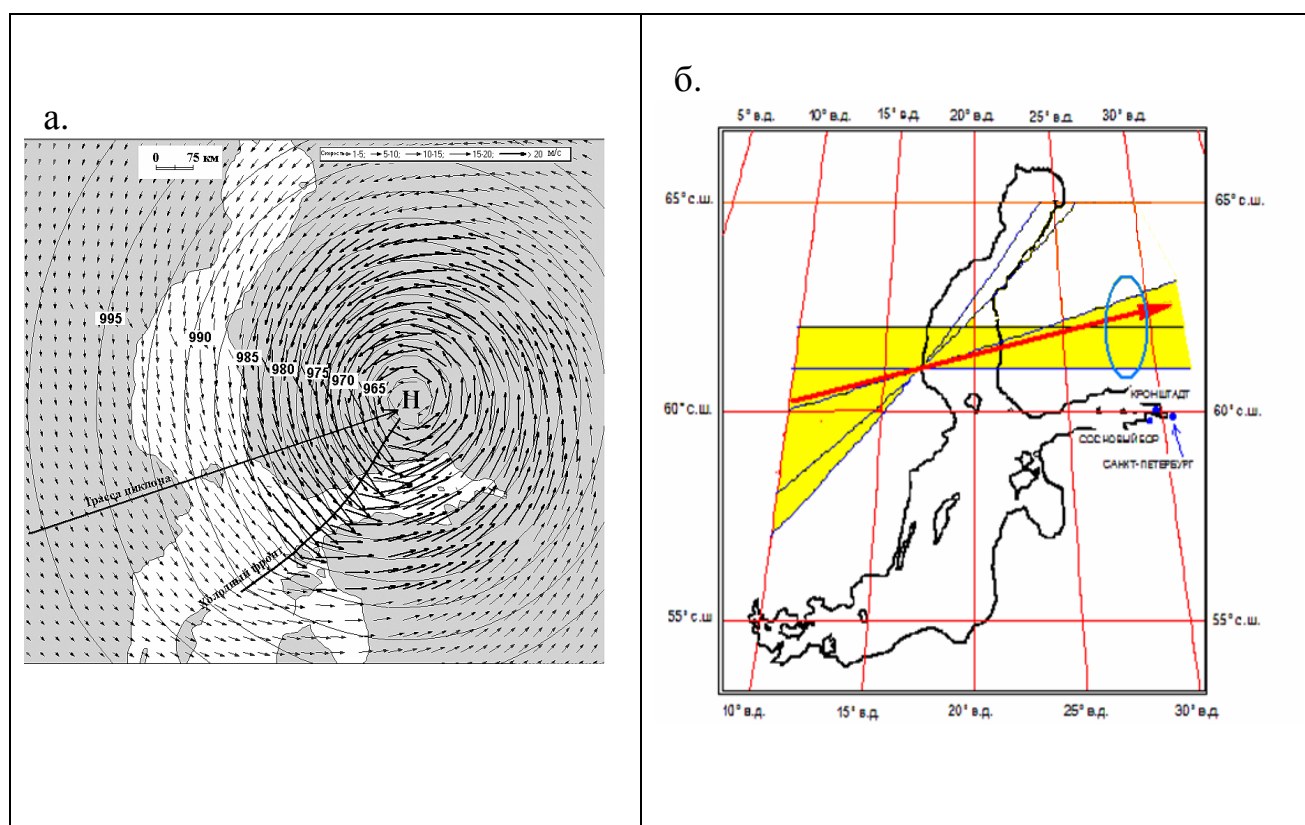


Рис.5. Вид изобар и параметры экстремального модельного циклона при аналитическом задании поля атмосферного давления (а) и выделенный сектор наиболее опасных траекторий экстремальных циклонов для наводнений в С-Петербурге (б). Овалом показан район максимального «углубления» циклона для формирования максимального подъема уровня в С-Петербурге.

Для учета холодного фронта в поле давления, задаваемое по формулам (2) и (3), была внесена поправка, приводящая к характерному понижению давления вдоль фронта и соответственно усилению ветра вблизи фронта, что также важно учитывать для более точного воспроизведения экстремальных подъемов уровня в Финском заливе, Невской губе и других заливах моря.

В результате были получены значения параметров экстремальных циклонов, приводящих к максимальным подъемам уровня (до 580 см) на восточном побережье Балтики, в Финском и Рижском заливах. Результаты численных экспериментов показали также, что дополнительный подъем уровня в Финском заливе за пределами КЗС при его закрытии составляет 5-7 % от подъема уровня без влияния КЗС даже при аномальном циклоне и экстремальной высоте подъема уровня (рис. 6).

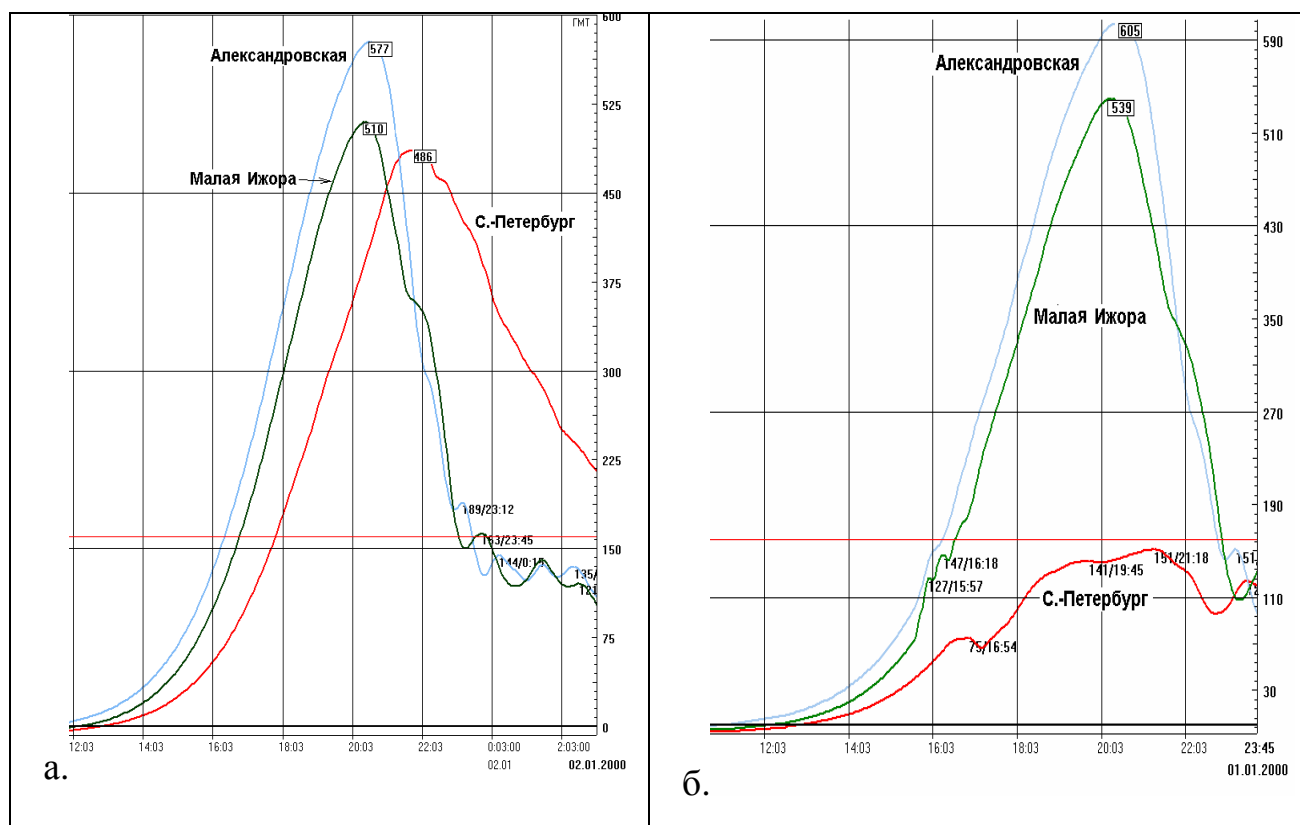


Рис. 6. Временной ход уровня в Александровской, Малой Ижоре и СПб при прохождении экстремального циклона вдоль 61.5 с.ш. со скоростью 50 км/час. КЗС в проектном состоянии. Слева – КЗС открыт, справа: закрыт с момента перехода уровня у КЗС со стороны Финского залива через отметку 1 м

При моделировании ситуации прохождения экстремального циклона севернее оси Финского залива и закрытии КЗС получено, что внутри Невской губы

бы за счет ветрового нагона может создаваться значительный наклон уровня с высотой до 1.5м, что необходимо учитывать при планировании работы КЗС (рис. 6.б).

Сектор траекторий глубоких циклонов, которые вызывают значительные подъемы уровня в Финском заливе, известен синоптикам, в выполненных численных экспериментах он был четко выделен и представлен в главе 5 (рис. 5.б). При анализе ряда среднемесячных значений уровня в Кронштадте был сделан вывод о том, что высокие среднемесячные значения в последние 30 лет наблюдаются в 1.5-2 раза чаще чем в предыдущие десятилетия. Это свидетельствует о том, что траектории циклонов с 80-х гг. XX в. чаще стали проходить через выделенный «опасный» сектор. В численных экспериментах показано также, что экстремально низкие значения уровня в Финском заливе могут достигать значений минус 120-130см при движении активных циклонов по траекториям, лежащим на 150-200 км южнее оси залива.

**В Заключение** сформулированы основные результаты и выводы.

1. Разработан программный комплекс для моделирования циркуляции и переноса пассивных гидробионтов под влиянием атмосферного воздействия в верхнем слое Охотского и смежной акватории Норвежского и Баренцева морей. Исследован перенос икры и личинок и их распределение в конце пассивной стадии для двух важнейших промысловых видов – минтая и трески.

2. Для сравнительной оценки интенсивности циркуляции в верхнем слое Охотского моря предложен простой и наглядный индекс. Индекс оценки интенсивности использован для анализа условий циркуляции и распространения икры и личинок минтая за ряд лет 1981-2000гг.

3. Выполненные расчеты показали, что особенности распределения личинок минтая в конце пассивной стадии формируются в основном дрейфовой циркуляцией. Качественное сравнение распределения личинок и последующего формирования запаса показало, что при выносе значительной части личинок в конце лета с Сахалинского шельфа и из северных районов с большой вероятностью формируется бедное поколение и через 4-5лет наблюдается снижение запаса.



4. Численные эксперименты по воспроизведению циркуляции и переноса гидробионтов на акватории Норвежского и Баренцева морей позволили выделить и оценить вклады геострофической и дрейфовой составляющих скорости течения в перенос пассивных гидробионтов. Основные характерные особенности циркуляции в конкретном году в акватории Норвежского и Баренцева моря создаются благодаря дрейфовой компоненте скорости течения, формируемой под непосредственным атмосферным воздействием. Несмотря на изменчивый и разнонаправленный характер дрейфовой компоненты скорости течения, именно она определяет в какой район и в какие условия попадут личинки в конце пассивной стадии своего развития.

5. Рассмотрены и воспроизведены циркуляция и распределение икры и личинок трески в аномально холодный и аномально теплые годы. Показано, что в холодный год значительная часть личинок не попадает в южную часть Баренцева моря, что определяет низкую продуктивность поколения этого года. Результаты экспериментов по распространению икры и личинок трески в аномально теплые годы показали, что большая их часть достигает южной части Баренцева моря, это определяет высокую продуктивность поколений, формирующихся в такие годы.

6. В численных экспериментах с помощью программного комплекса CARDINAL были воспроизведены процессы разрушения устойчивой стратификации над банкой и подъема вод с глубин от 50 до 300м. В летнее время при прохождении над районом активного циклона такие процессы служат дополнительными источниками питательных веществ в Баренцевом море, в результате чего в прибрежных районах, вблизи островов и на банках могут формироваться высокопродуктивные зоны. Численное моделирование позволяет проводить исследование гидрофизических процессов и процессов формирования продуктивных зон в море при любых гидрометеорологических условиях, в то время как при прохождении атмосферных циклонов облачность препятствует устойчивому дистанционному зондированию морской поверхности, а штормовые условия делают невозможными контактные наблюдения с борта судна.

7. Рассчитаны значения параметров и траектории наиболее опасных циклонов, приводящих к экстремальным подъемам уровня на побережье Балтийского моря и Финского залива (минимальная глубина циклона – 960гПа и ниже, скорость движения центра 50-60км/час, максимальная величина градиента давления на расстоянии 180-200км от центра). Предложен и впервые применен метод аналитического задания поля атмосферного давления для воспроизведения экстремальных колебаний уровня в Балтийском море с использованием программного комплекса CARDINAL.

Расчеты показали, что в Финском заливе экстремальные подъемы уровня могут достигать значений 5.5-5.8 м, существенно превышающих все ранее наблюдавшиеся значения. Причем для осуществления таких катастрофических подъемов необходимо сочетание всех экстремальных значений параметров и наиболее опасных траекторий циклонов. Такие параметры и траектории по отдельности наблюдаются достаточно часто (от 1-2 раз в году до 1 раза в несколько лет), но очень редко совпадают все вместе (повторяемость оценивается в 0.01%).

8. Численные эксперименты показали, что влияние закрытия КЗС на увеличение подъема уровня на побережьях Финского залива при задании параметров экстремального циклона относительно невелико и не превосходит 5-6% от величины подъема при открытом КЗС. Влияние закрытия КЗС практически перестает сказываться на величине подъема уровня на побережьях залива на расстоянии 200км от С-Петербурга.

Показано, что максимальные подъемы и опускания уровня наступают через 2-3 часа после максимального углубления циклона при движении его по наиболее опасной траектории, что при прогнозировании может служить дополнительным указанием на момент наступления экстремального значения уровня.

На основе расчетов показано, что при прохождении опасных циклонов и закрытии КЗС внутри замкнутой акватории может формироваться значительный наклон уровня (до 1.5м) в сторону от КЗС к С-Петербургу, что необходимо учитывать при планировании времени закрытия и открытия КЗС.

При проектировании берегозащитных и гидротехнических сооружений гидродинамические расчеты максимальных и минимальных уровней могут служить дополнением к статистическим и синоптическим методам, а в случае оперативных действий могут стать основными методами расчета и прогноза экстремальных уровней.

9. В численных экспериментах был определен сектор траекторий циклонов над Балтийским регионом, при прохождении циклонов через который, наблюдаются высокие значения уровня в Финском заливе. Анализ многолетнего ряда среднемесячных значений уровня в Кронштадте позволил сделать вывод о том, что случаи значительных подъемов уровня в последние три десятилетия наблюдались в 1.5-2 раза чаще, чем в прежние десятилетия XX века. Увеличение повторяемости высоких значений уровня в Невской губе свидетельствует о том, что в последние десятилетия траектории циклонов значительно чаще попадают в выделенный сектор.

10. Результаты исследований, касающихся моделирования распространения пассивных гидробионтов использовались в совместных работах РГГМУ, СахНИРО и ПИНРО; моделирование формирования биопродуктивных зон выполнялось в рамках совместного российско-норвежского проекта MAREBAS, направленного на рациональное использование ресурсов Баренцева моря и повышение эффективности рыболовства; исследования экстремальных колебаний уровня в Балтийском море частично выполнялись в рамках проекта SfP NATO Project № 981382 «Анализ рисков наводнений в Финском заливе и Санкт-Петербурге». Результаты исследований и модельные расчеты используются в учебном процессе в РГГМУ, в дисциплинах океанологической специальности, в курсовых и выпускных квалификационных работах студентов океанологического факультета.

### **Список публикаций по теме диссертации**

*Работы в журналах из перечня ведущих рецензируемых научных изданий,*

*рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций:*

1. Аверкиев А.С. Моделирование синоптической изменчивости верхнего квазиоднородного слоя океана// *Метеорология и гидрология*, 1984, № 7.- с.102-104
2. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Определение траекторий и скоростей циклонов, приводящих к максимальным подъемам воды в Финском заливе// *Метеорология и гидрология*, 2007, №8.- с. 55-63.
3. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива// *Метеорология и гидрология*, 2009, № 11.- с. 59-68
4. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Моделирование течений в Баренцевом море в связи с освоением Штокмановского газоконденсатного месторождения// *Метеорология и гидрология*, 2010, № 11.- с. 44-56.
5. Аверкиев А.С. и др. Исследование изменчивости гидрофизических характеристик по наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан»// *Ученые записки РГГМУ*, 2010, № 15.-с. 135-149 (Соавт.: В.Д. Бойцов, А.Л. Карсаков, А.С. Аверкиев, Д.В. Густоев, И.П. Карпова).
6. Клеванный К.А., Аверкиев А.С. Влияние работы комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений на подъем уровня воды в восточной части Финского залива// *Обществ. Среда. Развитие.*, 2011, № 1(18).-с.204-209.
7. Аверкиев А.С. Оценка влияния циклонической активности на колебания уровня воды в Невской губе// *Ученые записки РГГМУ*, 2011, № 18.-с.100-111
8. Козлов И.Е., Аверкиев А.С., Густоев Д.В. Наблюдение термических фронтов в районе Гусиной банки Баренцева моря на основе спутниковых радиолокационных данных // *Ученые записки РГГМУ*, 2011, №20.-с. 152-161.

*Учебные и учебно-методические издания*

1. Аверкиев А.С., Белянцев М.В. и др. Взаимодействие океана и атмосферы. Лабораторные работы по курсу / под ред. Б.А.Кагана.- Л.: изд. ЛГМИ, 1986.- с.27-35
2. Аверкиев А.С., Белянцев М.В. и др. Взаимодействие океана и атмосферы (лабораторный практикум)/ под ред. Кагана Б.А.- Л.: Гидрометеиздат, 1989.- 200с.
3. Аверкиев А.С., Булаева В.М., Густоев Д.В., Карпова И.П. Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса "Призма" / Мурманск: изд. ПИПРО, 1997.- 40 с.
4. Аверкиев А.С., Гогоберидзе Г.Г. Экономика прибрежной зоны. Учебное пособие.- СПб: изд. РГГМУ, 2003.- 155 с.
5. Аверкиев А.С., Чанцев В.Ю. Основы промышленной океанологии. Промышленно-океанологическое прогнозирование. Методические указания/. СПб: РГГМУ, 2003.-16 с.

*Публикации в прочих научных изданиях:*

1. Аверкиев А.С. Сезонная изменчивость верхнего квазиоднородного слоя в энергоактивной зоне Северной Атлантики: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук// Ленинград: ЛГМИ, 1984.-18 с.
2. Аверкиев А.С., Струлев О.Ю. Оценка изменчивости результирующего потока тепла на поверхности океана// Деп.ВИНИТИ N 6859-84, 1984.-8 с.
3. Аверкиев А.С., Масловский М.И., Морачевский А.В., Чанцев В.Ю. Моделирование климатически равновесного состояния верхнего слоя океана и его длительных аномалий в Северной Атлантике // Тезисы докл. III съезда сов. Океанологов. Секция физики и химии океана.-Л.: Гидрометеизд, 1987.- с.20.
4. Аверкиев А.С., Плинк Н.Л. Энергетика фронтального вихря в южной части Норвежского моря// Межведомственный сборник (Труды ЛГМИ), Л.: 1987, вып.93.- с.47-54.

5. Аверкиев А.С., Масловский М.И., Трушина Г.В. Сезонная изменчивость водообмена между Баренцевым и Норвежским морями // Труды ЛГМИ, Л.: изд. ЛПИ, 1987, вып. 99.- с. с.85-90
6. Аверкиев А.С., Ляхин Ю.И. и др. Гидрологическая структура вод прибрежной зоны восточной Балтики // Тезисы докл. VIII Всесоюзн. конф. по промышленной океанологии, Л.: 1990.-с.31
7. Аверкиев А.С., Масловский М.И. Об использовании моделирования динамики верхнего слоя окраинного моря в связи с изучением распределения биологических объектов// Тезисы докл. VIII Всесоюзн. конф. по промышленной океанологии, Л.: 1990.- с.32
8. Аверкиев А.С., Зверькова Л.М., Масловский М.И., Сустанов Ю.В. Расчет ветровой циркуляции в Охотском море в связи с дрейфом икры и личинок промысловых рыб// Сб. научн. тр.(межведомственный), тр. ЛГМИ, Л.: изд. ЛГМИ, 1991, вып.112.- с.121-130.
9. Аверкиев А.С., Плотников В.А., Воронков К.Л. Экспериментальное подтверждение гипотезы проникновения атлантических вод из Баренцева моря в Арктический бассейн через пролив Макарова// Сб. научн. тр.(межведомственный), тр. РГГМИ, СПб.: РГГМИ, 1992, вып.115.- с.22-28.
10. Аверкиев А.С., Зверькова Л.М., Масловский М.И., Сустанов Ю.В. Результаты исследования условий воспроизводства охотоморской популяции минтая// Сб. научн. тр."Рыбохозяйственные исследования в Сахалино-Курильском районе", Южно-Сахалинск: 1994.-с.7-14.
11. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Чанцев В.Ю. Программный комплекс МАРКЕР для расчета циркуляции и распространения примеси в верхнем слое Охотского моря// Тез. Всероссийской конф."Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса", Астрахань:1994.- с. 374-375.
12. Аверкиев А.С., Чанцев В.Ю. Расчет распространения икры трески в верхнем слое на водоразделе Норвежского и Баренцева морей на основе гидродинамической модели// Сб.научн.тр. ПИНРО «Вопросы промышленной океанологии Северного бассейна», Мурманск: изд. ПИНРО, 1995.-с.131-138.

13. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Чанцев В.Ю. Численная модель дрейфа пассивной примеси в смежных районах Норвежского и Баренцева морей// Тезисы докл. Российско-Норвежского рабочего совещания. ААНИИ, СПб.: 1995.
14. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Чанцев В.Ю. Расчет циркуляции вод и переноса гидробионтов в промысловых бассейнах с использованием комплекса "Маркер"// Тезисы докл. X Междунар. конф. по промысловой океанологии. М.: изд. ВНИРО, 1997.- с.9-10.
15. Averkiev A., Kantakov G., Puzankov G., Gustoev D., Bulaeva V., Karpova I. Two Methods of SST Forecast in the Sea of Okhotsk and Sea of Japan// 7-th Annual Inter-national TeraScan User's Conference Proceedings// SeaSpace Corp. San-Diego. CA., 1998.-pp.15-17.
16. Аверкиев А.С., Карпова И.П. О долгопериодных изменениях климатических и рыбопромысловых показателей// Тезисы докладов VII Всероссийск. Конфер. по проблемам промыслового прогнозирования, Мурманск: изд. ПИНРО, 1998.- с.20-23.
17. Аверкиев А.С., Карпова И.П. Ритмика долгопериодных изменений отдельных природных процессов// Сб. научн. трудов РГГМУ, СПб: 2000.- с. 63-72.
18. Аверкиев А.С., Густоев Д.В. Расчет переноса икры и личинок трески в Норвежском и Баренцевом морях// Тезисы докладов Итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ, СПб: 2001.-с.111-113.
19. Аверкиев А.С., Еремина Т.Р., Исаев А.В. Влияние залива Североморских вод на состояние глубинных вод Балтийского моря// Сб. материалов Конференции «Аква-терра-2004», СПб: 2004- с.141-145.
20. Аверкиев А.С., Карпова И.П., Густоев Д.В. О прогнозировании рыбопромысловых характеристик// Вопросы промысловой океанологии. Вып. 1. М.: изд. ВНИРО, 2004.-с.296-305.
21. Аверкиев А.С., Некрасов А.В., Исаев А.В. Термохалинная структура вод Балтийского моря/ Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Российских морей Северо-Европейского бассейна.- Апатиты: изд. РАН, Кольский научный центр, 2004.- с.153-160.

22. Аверкиев А.С., Карпова И.П., Густоев Д.В., Серяков Е. И. Исследование и долгосрочное прогнозирование тепловых процессов на разрезе «Кольский меридиан»/ 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море.- Мурманск: изд. ПИПРО, 2005.- с.15-31 (рус), с. 173-186 (англ.)
23. Averkiev A., Klevannyu K. Evaluation of cyclone trajectories and velocities the most dangerous for water level rise along the Gulf of Finland coast// Abstract Baltic Sea Science Congress, Rostock: 2007, March 19-22, vol 1, part 1: Lectures.-p. 104.
24. Averkiev A., Klevannyu K., Martyanov S., Nekrasov A. Structural analysis of storm surges and related floods in the Gulf of Finland // Abstract Baltic Sea Science Congress, Rostock: 2007, March 19-22, vol 1, part 2: Lectures.-p. 18.
25. Averkiev A., Klevannyu K. Calculation of extreme water level rises along the western part of the Gulf of Finland// Abstracts Int. Conf. Effects of Climate Change on the World's Oceans, Gijon, Spain., May 19-23, 2008, -p. 206.
26. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Еремина Т.Р., Исаев А.В Влияние изменчивости абиотических факторов на экологическое состояние Балтийского моря// Сборник тезисов IX Международного экологического форума «День Балтийского моря».- СПб.: изд. «Диалог», 2008 .- с. 205-206.
27. Averkiev A., Klevannyu K.A. Modeling of possible extreme maximal and minimal water levels in the Gulf of Finland and in the Gulf of Riga// Abstract book 7th Baltic Sea Science Congress (BSSC- 2009), Tallinn, Estonia, 2009, August 17-21.- с. 74.
28. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Моделирование экстремальных значений уровня на побережье Финского залива// Сборник тезисов X Международного экологического форума “День Балтийского моря” (17-19 марта 2009), СПб.: изд. ООО «Макси-Принт», 2009. – с. 145 (рус), с. 400 (англ).
29. Averkiev A.S., Klevannyu K.A. A case study of the impact of cyclonic trajectories on sea-level extremes in the Gulf of Finland// Continental Shelf Research, v. 30, num 6, 2010.- pp. 707-714.
30. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карпова И.П. Гидрофизические структуры и биолого-промысловые скопления в Баренцевом море// Материалы Междуна-



родной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биоресурсов Мирового океана», в 2 ч., Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010, ч. 1.- с. 191-194.

31. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карпова И.П. Диагностика гидрофизических структур и промысловых объектов в Баренцевом море по спутниковым данным// Тезисы докладов Международной научной конференции «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/2008», СПб.: ААНИИ, 2010.- с. 214.

32. Клеванный К.А., Аверкиев А.С. Моделирование экстремальных колебаний уровня в Финском заливе и учет влияния комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений// В кн. Основные концепции современного берегопользования. - СПб.: изд. РГГМУ, 2011, том 3.-с. 10-24.

33. Аверкиев А.С. Уровень в Невской губе и циклоническая активность над Балтийским морем// Сборник тезисов XI Международного экологического форума “День Балтийского моря”, СПб.: 2011.-с. 186-17

34. Averkiev A., Klevannyu K.A. Modeling of extreme values of water level and the influence of closing of the St.-Petersburg Flood Protection Barrier on the level in the Eastern Gulf of Finland// Proceedings of the 8<sup>th</sup> Baltic Sea Science Congress, St. Petersburg, RSHU, 2011.- p. 325.

35. Averkiev A., Klevannyu K.A. Hydrophysical structures and biology concentrations in Barents Sea// Тезисы докладов Международной конференции «Потоки и структуры в жидкостях: физика геосфер», Владивосток: изд. Дальневост. федерал. Ун-та, 2011.- с.14-17.

36. Averkiev A., Klevannyu K.A. Modeling of the Dangerous Cyclones and Extreme Water Levels in the Gulfs of Baltic Sea// Тезисы докладов Международной конференции «Потоки и структуры в жидкостях: физика геосфер», Владивосток: изд. Дальневост. федерал. Ун-та, 2011.- с.17.

37. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карпова И.П. Гидрофизические структуры и биологические объекты Баренцева моря по данным спутниковой информации// Материалы XV Конференции по Промысловой океанологии, Калининград: изд. АтлантНИРО, 2011.- с.25-27 (рус), с. 27-29 (eng).

## Список цитируемой литературы

- Боуден, К. Физическая океанография прибрежных вод / К. Боуден; пер. с англ.- М.: Мир, 1988.- 324с.
- Гершанович, Д. Е. Биопродуктивность океана / Д. Е. Гершанович, А.А. Елизаров, В.В. Сапожников.– М.: Агропромиздат, 1990. - 237 с.
- Зверькова, Л.М. Минтай. Биология, состояние запасов / Л.М Зверькова. – Владивосток: ТИПРО-центр, 2003.–248с.
- Клеванный, К.А. Использование программного комплекса CARDINAL / К.А. Клеванный, Е.В. Смирнова // Журнал Университета водных коммуникаций, 2009, вып. 1. - с.153-162.
- Матишов Г. Г., Денисов В. В., Дженюк С. Л. Интегрированное управление природопользованием в шельфовых морях. Известия РАН. Серия географическая.- 2007, № 3.- С. 27-40
- Миязаки, М. Теоретические исследования нагонов у берегов Японии. Численные методы расчетов штормовых нагонов. / М. Миязаки , Т. Уэно, С. Уноки. - Л.: Гидрометеиздат, 1964.- 116 с.
- Vikebo, F. The combined effect of transport and temperature on distribution and growth of larvae and pelagic juveniles of Arcto-Norwegian cod / F. Vikebo, [и др.]// ICES Journal of Marine Science, 2005, v. 62(7). - pp. 1375-1386