

МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 551.46 (268.45)

Ившин Виктор Анатольевич

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ ТЕРМОХАЛИННАЯ И ПЛОТНОСТНАЯ  
СТРУКТУРА ВОД БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Специальность 25.00.28 – "Океанология"

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

Мурманск  
2006

Работа выполнена в Полярном научно-исследовательском институте морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО).

Научный руководитель: доктор географических наук  
Титов Олег Владимирович

Официальные оппоненты: доктор географических наук  
Малинин Валерий Николаевич

кандидат географических наук  
Инжебейкин Юрий Иванович

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

Защита состоится "4" *авг* 2006 г. в "11" ч. *00* мин. на заседании диссертационного совета Д 002.140.01 Мурманского морского биологического института.

Адрес: 183010, Мурманск, ул. Владимирская, 17

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ММБИ.

Автореферат разослан "21" *фев* 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Е.Э. Кириллова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Исследования Баренцева моря в последние годы направлены на изучение и понимание множества внутренних и внешних связей, между условиями природной среды и организмами различных трофических уровней. Данные результаты позволяют получить знания о динамике пространственно-временной изменчивости исследуемых параметров, о направленности биопродукционных процессов, о реакции биосферы на антропогенное воздействие (Жизнь и среда..., 1989; Океанографические условия..., 1999; Несветова, 2002; Биотестирование и прогноз..., 2003).

Особенности вертикальной структуры вод Баренцева моря тесно взаимосвязаны с механизмами функционирования водных экосистем. Показатели, характеризующие стратификацию водной толщи, позволяют рассматривать интенсивность вертикального перемешивания, насыщение кислородом придонных слоев, вынос питательных веществ в фотический слой (Матишов, Денисов, 2000; Комплексные исследования ..., 2004). Зарождение пикноклина и последующее его развитие при достаточной концентрации биогенных элементов и освещенности вод поверхностного слоя создает комплекс условий и определяет характер процессов продуцирования фитопланктона (Бобров, 1978; Рыжов, 1985). Вертикальное распределение концентраций зоопланктона также связано с глубиной залегания скачка плотности (Дробышева, 1994; Тимофеев, 1995) и определенным образом влияет на вертикальные миграции пелагических рыб. И, наконец, характеристики вертикального строения вод оказывают влияние на выживаемость рыб в период раннего онтогенеза и формирование численности поколений. Всестороннее изучение вертикальной структуры вод Баренцева моря является весьма актуальным для понимания процессов функционирования его экосистемы на нижних трофических уровнях (Матишов, Тимофеев, 1990; Эволюция экосистем..., 1994).

Изучение вертикальной структуры вод Баренцева моря в предшествующие годы в основном базировалось на анализе графиков вертикального распределения океанографических параметров на разрезах и галсах, построенных по данным наблюдений на стандартных горизонтах (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990). Данный подход имеет довольно существенные недостатки. По разрезам и галсам достаточно сложно представить пространственную картину распределения элементов структуры на всей акватории моря. В свою очередь, стандартные горизонты недостаточно полно отражают вертикальную структуру вод, т.к. отдельные элементы могут располагаться между ними.

Основной задачей при изучении вертикальной стратификации гидрофизических параметров является корректное выделение элементов структуры и проведение дальнейшего анализа с учетом выделенных компонентов. Для этого требуется отлаженный аппарат классификации

объектов, который должен удовлетворительно совмещать математическую интерпретацию с физической природой исследуемых элементов (Белкин, 1981; Степанов, 1983; Голубев, Лебедев, 1983).

Сложный рельеф дна Баренцева моря, наличие теплых и холодных течений, а также климатические условия региона, способствуют возникновению специфических особенностей вертикального строения вод. Изучению вертикальной структуры посвящено большое количество научных статей и справочного материала, тем не менее, комплексного описания вертикального строения вод Баренцева моря на сегодняшний день нет.

Другой актуальной задачей при изучении свойств вертикального строения вод является возможность районирования изучаемой акватории по характеру формы вертикального профиля, являющегося чувствительным индикатором присутствия определенных водных масс и интенсивности различных гидротермодинамических процессов (Белкин, 1991).

**Цель и задачи работы.** Цель настоящей работы – изучить вертикальную термохалинную и плотностную структуру вод Баренцева моря.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решались следующие задачи:

- выделение основных элементов вертикального строения вод;
- изучение их среднемноголетнего состояния, сезонной и межгодовой изменчивости;
- выделение основных типов вертикальных кривых температуры, солености и плотности;
- количественная оценка элементов стратификации в выделенных типах вертикальных профилей;
- изучение временной изменчивости элементов структуры;
- выделение группировок профилей по морфологическим признакам и районирование акватории Баренцева моря по характеру вертикальной термохалинной структуры вод;
- моделирование подъема икры трески с горизонтов нереста в поверхностный слой в зависимости от плотностной стратификации вод.

**Научная новизна.** Предложена новая кодификация вертикальных кривых, которая позволяет обобщать профили в группировки на основе схожести формы. По признакам кода профилей уже на начальном этапе анализа можно выявить наличие (отсутствие) основных элементов структуры вод, а при необходимости – получить их количественные характеристики.

По данным наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» рассмотрена внутрigoдовая изменчивость вертикального распределения температуры и солености с пятнадцатидневной дискретностью. Проанализированы условия зарождения, развития и разрушения термо- и халоклина. Выявлен придонный градиент температуры воды и рассмотрены возможные механизмы его образования.

Дана оценка характеристик термохалинной и плотностной структуры вод Баренцева моря. На основе картирования расчетных показателей проведен анализ распределения толщины верхнего однородного слоя, градиента в слое скачка, а также вертикального развития и глубины его залегания в разные по теплосодержанию вод годы. Показаны районы локализации однотипных кривых температуры, солености и плотности на акватории моря.

Разработана модель расчета скорости и времени подъема икры трески на нерестилищах у Лофотенских о-вов. Рассмотрена изменчивость скорости и времени подъема икры в разные по тепловому содержанию вод годы.

**Практическая ценность.** Получены среднемноголетние карты распределения основных элементов вертикальной структуры, показано местоположение однотипных профилей температуры, солености и плотности для разных по термическому содержанию вод годы. Рассмотрена динамика образования, развития и разрушения термо- и халоклина на разрезе «Кольский меридиан» в течение года.

Результаты могут быть использованы:

- для подготовки справочных пособий по океанографическому режиму Баренцева моря;
- при верификации имеющихся и разработке новых гидротермодинамических моделей;
- при исследовании процессов образования и разрушения ледяного покрова;
- для изучения влияния стратификации вод на формирование концентраций биогенных веществ;
- в виде составного блока или модуля при моделировании процессов первичного продуцирования органического вещества;
- при изучении комплексного взаимодействия элементов экосистемы Баренцева моря.

Реализована модель подъема икры трески на нерестилищах у Лофотенских о-вов. Данную модель и полученные с ее помощью результаты планируется использовать для выявления особенностей выживания рыб в раннем онтогенезе. Предполагается ее адаптация для других регионов Северо-Европейского бассейна.

**Положения, выносимые на защиту:**

- методика выделения элементов вертикальной структуры вод;
- результаты исследования внутрigoдовой изменчивости вертикального строения вод;
- результаты изучения вертикальной структуры вод Баренцева моря в теплые, нормальные и холодные годы;
- классификация профилей по морфологическим признакам и районирование акватории моря по типу кривых;
- результаты моделирования подъема икры трески с горизонтов нереста в поверхностный слой.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных межлабораторных семинарах ПИНРО (Мурманск, 1999-2005 гг.), на XI Всероссийской конференции по промысловой океанологии (Калининград, 14-18 сентября 1999 г.), на отчетной сессии ПИНРО и СевПИНРО по итогам научно-исследовательских работ в 2001-2002 гг. (Мурманск, 2003 г.), на IX Всероссийской конференции по проблемам промыслового прогнозирования (Мурманск, 2004 г.), на 2-й Всероссийской Интернет-конференции молодых ученых (Владивосток, 2004 г.), на ежегодных научных конференциях ИКЕС (ICES) (Таллинн, 2003 г.; Виго (Испания), 2004 г.).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 151 страницу, включая 2 таблицы и 50 рисунков. Список литературы содержит 161 источник, в том числе 40 на иностранных языках.

**Благодарности.** Считаю приятным долгом выразить глубокую благодарность своему научному руководителю, доктору географических наук О.В.Титову за помощь в работе. Искренне признателен за ценные советы, критические замечания и консультации кандидатам географических наук В.К.Ожигину, В.Д.Бойцову, А.П.Педченко, А.Г.Трофимову, кандидату биологических наук Н.В.Мухиной, а также всем сотрудникам лаборатории промысловой океанографии (ПИНРО), помогавшим при сборе, обработке и анализе данных.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель диссертационной работы, задачи исследований и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведены общие сведения о районе исследований: местоположение, морфометрические характеристики, особенности рельефа дна и береговой черты. Охарактеризованы атмосферная деятельность над акваторией Баренцева моря, общие черты циркуляции вод, полей температуры, солености, а также особенности ледовых условий этого региона.

Обобщены сведения о методах описания и анализа вертикальных профилей, которые можно разделить на две основные категории:

- экспертные методы, основанные на визуальной типизации кривых;
- методы, базирующиеся на математической интерпретации форм кривых.

Дана характеристика каждой группы методов, отмечены достоинства и недостатки. Первая группа методов была широко распространена в начале шестидесятих годов прошлого века (Степанов, Шагин, 1961; Некрасова, Степанов, 1962). С их помощью были заложены основные концепции в изучении вертикальной структуры вод. Вторая группа методов стала формироваться по мере накопления первичных данных и развитием компьютерных технологий. Экспертные методы стали заменяться различными видами математической интерпретации описания кривых. Наиболее значимые разработки этого направления можно найти в работах А.А. Кузнецова (1982) и И.М. Белкина (1991).

Рассмотрены и проанализированы основные приемы классификации и осреднения вертикальных профилей. Классификация вертикальных кривых необходима для выделения акваторий с квазидинаковым расслоением вод и для компактного представления сведений о типах стратификации. Описан метод классификации на основе морфологических признаков кривых. От выбора метода осреднения зависит получение надежных статистических оценок по группе исследуемых профилей. Представлены недостатки осреднения профилей по стандартным горизонтам и показаны преимущества получения средних значений исследуемых параметров по особым точкам, характеризующим переход от одного элемента структуры к другому.

Выполнен обзор литературы, посвященный влиянию структуры вод на жизнь морских гидробионтов. Так, толщина гомогенного поверхностного слоя оказывает непосредственное влияние на процессы образования первичной продукции (Sverdrup, Johnson, Fleming 1949; Бобров, 1978; Моисеев, 1989). В этом же слое протекают важные периоды жизненного цикла многих зоопланктонных организмов (Эволюция экосистем..., 1990; Тимофеев, 1995). Однородный верхний слой является зоной обитания икры

и личинок большинства видов промысловых рыб Баренцева моря (Расс, 1949; Рекомендации по рациональной ..., 1991; Мухина, 2004).

**Вторая глава** посвящена используемым в работе материалам и методам. В работе использовались данные океанографических наблюдений, собранные специалистами ПИНРО, ММБИ, Мурманского ГМЦ, ААНИИ и других мореведческих институтов. Необходимо отметить большой вклад сотрудников ММБИ в создание электронных атласов и баз данных по океанографическим и биологическим наблюдениям в Баренцевом море (Climatic atlas..., 1998; Biological atlas..., 2000; Golubev, Zuyev, Oelke, 2000; Краснов и др., 2002), которые полностью удовлетворяют современным исследовательским требованиям

Представлены требования, предъявляемые к качеству используемых данных. На первом шаге анализировалась реальность наблюдаемых величин. На втором – проводилась проверка вертикальной устойчивости вод на станции. Конечный этап – проверка географических координат и скорости судна при движении от одной станции к другой. Данные по станциям, не удовлетворяющие этим критериям, по возможности, экспертно редактировались или уточнялись по первоисточникам.

При использовании данных зондовых наблюдений было проведено предварительное сглаживание мелких неоднородностей с использованием метода медианой фильтрации. Суть метода основывалась на том, что по данным вертикального профиля «скользило» 3-точечное окно и на каждом шаге проверялось условие существования 5-точечного острого экстремума. Если условие существования 5-точечного экстремума не выполнялось, тогда значение в центральной точке изменялось на медиану трех чисел (центрального значения и двух прилегающих).

Обоснован выбор критических значений градиентов температуры, солености и плотности морской воды. При выделении элементов вертикальной структуры в поле температуры использовалось критическое значение градиента  $\varepsilon_t = 0,02$  °C/м, солености ( $\varepsilon_s$ ) и плотности ( $\varepsilon_p$ )  $0,005$  м<sup>-1</sup>.

Предложен метод кодирования вертикальных профилей. Процесс кодировки заключался в следующем. Если градиент в слое лежит в пределах от минус  $\varepsilon$  до  $\varepsilon$ , то такой слой идентифицировался символом “0”. При градиенте, меньшем минус  $\varepsilon$  слой кодировался символом “-” (значимое уменьшение параметра с глубиной), большем  $\varepsilon$  - символом “+” (значимое увеличение параметра с глубиной). Класс вертикальной кривой формировался набором символов (идентификаторов), чередующихся при переходе от одного выделенного слоя к другому. В ходе процесса кодирования профилей создавался вектор особых точек, который определялся координатами (P, Z), где происходила смена кода слоя, а также координатами начальной и конечной точек профиля (рис. 1).

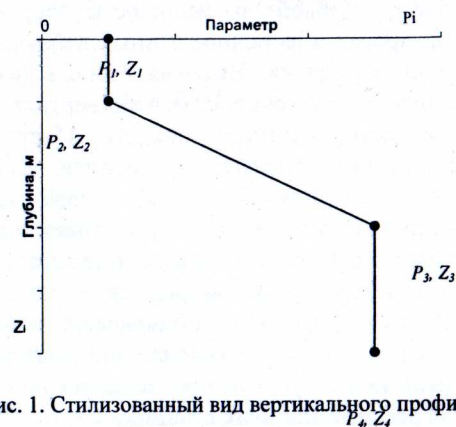


Рис. 1. Стилизованный вид вертикального профиля

Представлен принцип выделения основных элементов вертикального строения вод: толщины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), а также градиента, вертикального развития и глубины залегания слоя скачка.

Толщина ВКС определялась, как глубина залегания нижней границы однородного слоя ( $Z_2$ , см. рис. 1). По всем наблюдениям производился расчет толщины однородного слоя и формировался массив с географическими координатами станций и величиной вертикального развития ВКС.

Область повышенных вертикальных градиентов океанографических параметров принято называть слоем скачка (отрезок между точками  $P_2, Z_2$  и  $P_3, Z_3$ , см. рис. 1). Градиент в этом слое (*CGrad*) рассчитывался как

$$PGrad = \frac{P_3 - P_2}{Z_3 - Z_2} \quad (1)$$

Вертикальное развитие слоя скачка (*HGrad*) рассчитывалось как

$$HGrad = Z_3 - Z_2 \quad (2)$$

В случае отсутствия слоя скачка, его вертикальное развитие принималось равным нулю. По данным расчетов формировались массивы этого показателя и строились поля его распределения для разных по тепловому состоянию вод лет.

За глубину залегания слоя скачка принималось среднее значение глубин залегания его верхней и нижней границ:

$$ZGrad = \frac{Z_3 + Z_2}{2} \quad (3)$$

Анализ внутригодовой изменчивости параметров вертикальной структуры вод базировался на основе данных наблюдений, выполненных на разрезе «Кольский меридиан». Высокая степень насыщенности данными позволила рассмотреть изменение элементов вертикальной структуры с 15-суточной дискретностью. Внутри каждого 15-суточного интервала по многолетним данным отыскивалась преобладающая форма вертикального профиля, которая принималась за характерную. Многолетние характеристики элементов структуры вод были получены осреднением одноименных точек профилей доминантного класса. На основе расчетов для каждой станции разреза «Кольский меридиан» строились графики изменения профилей рассматриваемых океанографических параметров в период существования слоя скачка. Анализ внутригодовой трансформации элементов вертикальной структуры производился по «временным разрезам», построенным для рассматриваемых станций.

Изучение межгодовой изменчивости показателей базировалось на данных собранных в сентябре 1951-2000 гг. Для этого область от 67° до 80° с.ш. и от 10° до 70° в.д. делилась на трапеции с пространственным шагом 30° вдоль меридиана и 2° по параллели. Внутри каждой трапеции отыскивалась доминантная форма кривой, которая принималась, как характерная для данной области. К выделенным трапециям предъявлялось требование по обеспеченности данными минимум трех лет.

Межгодовая изменчивость вертикальной структуры вод в полях температуры, солености и плотности рассматривалась в зависимости от уровня теплового состояния вод, который оценивался согласно подходу, предложенному в работах (Справочный материал ..., 1985; Терещенко, 1999), однако в нашем случае используется не пять градаций, а три:

- холодный год ( $-\Delta T, ^\circ\text{C} < -0,5 \sigma_T$ );
- нормальный год ( $-0,5 \sigma_T \leq \Delta T, ^\circ\text{C} \leq 0,5 \sigma_T$ );
- теплый год ( $\Delta T, ^\circ\text{C} > 0,5 \sigma_T$ ),

где  $\Delta T$  - аномалия температуры воды,  $\sigma_T$  - среднеквадратическое отклонение температуры воды.

Автором предложена модель поднятия икры трески с горизонтов нереста в поверхностный слой, основанная на учете плотностной структуры вод. Согласно общепринятым законам физики сила, действующая на тело (икринку), может быть представлена как

$$F = mg, \quad (4)$$

где  $m$  - масса тела;  $g$  - ускорение свободного падения.

На поднятие икринки оказывают влияние несколько основных действующих сил:  $F_1$  - сила плавучести,  $F_2$  - сила тяжести,  $F_3$  - сила сопротивления.

Результирующая сила ( $F_\Sigma$ ), действующая на икринку, будет определяться как

$$F_\Sigma = F_1 - F_2 - F_3. \quad (5)$$

Икринка будет всплывать, если  $F_\Sigma > 0$ , погружаться, если  $F_\Sigma < 0$ , находиться в состоянии покоя:  $F_\Sigma = 0$ . Скорость подъема обуславливается разностью плотности икринки и плотности воды. Чем больше эта разность, тем с большей скоростью происходит подъем. По мере подъема икринка проходит слои воды с разными плотностными характеристиками, при этом ускорение ее подъема изменяется. С учетом ускоренного движения (поднятия) икринки (5) можно записать в виде:

$$\rho_1 V_1 a = \rho_2 V_1 g - \rho_1 V_1 g - 6\pi\eta R v, \quad (6)$$

где,  $\rho_1, V_1, R, a$  - плотность, объем, радиус и ускорение подъема икринки,  $\rho_2$  - плотность морской воды,  $\eta$  - динамическая вязкость жидкости,  $v$  - скорость подъема икринки,  $\pi - 3,1415...$

После некоторых преобразований (6) сводится к решению квадратного уравнения, положительный корень которого будет представлять скорость поднятия икры ( $v$ ):

$$v = S \left( \pm \sqrt{\frac{81\eta^2}{4\rho_1^2 R^4} - \frac{18}{S} \left( g \left( 1 - \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) - \frac{v_0^2}{2S} \right) - \frac{9\eta}{2\rho_1 R^2}} \right), \quad (7)$$

где  $S$  - пройденное расстояние.

Время, затраченное икрой на подъем будет определяться, как :

$$t = \frac{2S}{v + v_0}. \quad (8)$$

где  $v_0$  - начальная скорость.

Для расчета плотности морской воды использовались данные по температуре воды и солености на ст. Skrova за период с 1936 по 1992 гг. Физические параметры икры северо-восточной арктической трески заимствованы из работы Т.С. Расса (1949):

- плотность икринки (1,0235-1,0260) г/см<sup>3</sup>;
- масса икринки (0,926-2,200) мг;
- диаметр икринки (1,13-1,65) мм.

В *третьей главе* рассмотрена внутригодовая изменчивость вертикальной структуры вод на разрезе «Кольский меридиан».

На начальном этапе анализа вертикальной структуры вод было выявлено, что особенности развития и трансформации термо- и халоклина в

течение года по разрезу в целом значительно различаются, но на отдельных его участках имеют схожие черты. В связи с этим, станции разреза были разделены на три группы (1-2, 3-5, 6-10 станции).

Основной отличительной чертой термической вертикальной структуры в прибрежных водах Мурмана (1-2 станции) является выход верхней

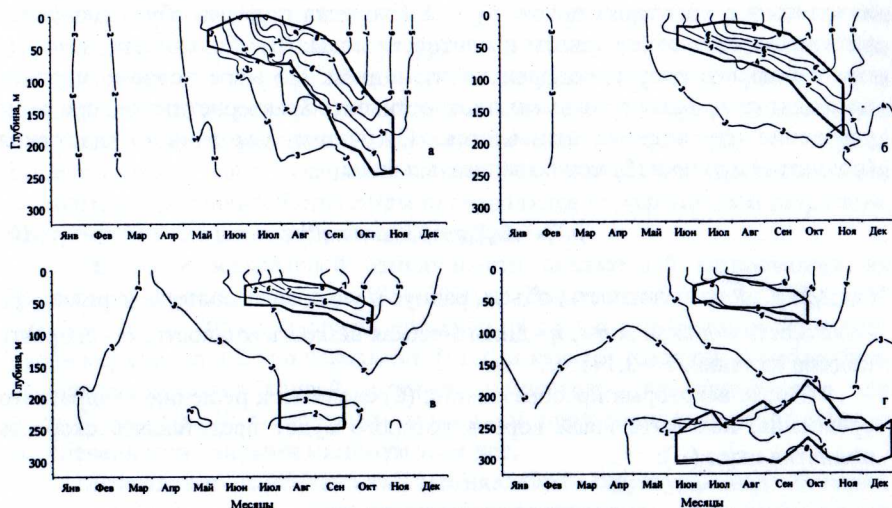


Рис. 2. Изменение термической структуры в течение года на станциях разреза «Кольский меридиан», жирной линией выделены области значимых градиентов: а – 1 станция (69°30' с.ш., 33°30' в.д.), б – 3 станция (70°30' с.ш., 33°30' в.д.), в – 6 станция (72°00' с.ш., 33°30' в.д.), г – 10 станция (74°00' с.ш., 33°30' в.д.).

границы слоя скачка на поверхность (Рис. 2а). Термоклин за время своего существования проходит через всю толщу вод и разрушается у дна. Для этой группы станций характерны достаточно высокие значения градиента в термоклине (минус 0,08 - минус 0,09 °С/м) и максимальные значения температуры на поверхности в период летнего прогрева (более 9 °С). Период (около 6 месяцев), в течение которого прослеживается сезонный слой скачка температуры воды на этих станциях, является наибольшим по сравнению с другими станциями разреза.

По характеристикам халинной вертикальной структуры вод первые две станции разреза также можно объединить в единую группу (Рис. 3а). Существенное влияние материкового стока в весенне-летний период приводит к образованию мощных (до 0,05 м<sup>-1</sup>) вертикальных градиентов солености. При этом верхняя граница халоклина на первой станции начинается с поверхности. В первой группе станций отмечается максимальное заглубление (до 150 м) нижней границы халоклина. Слой скачка солености прослеживается в течение полугода.

Во вторую группу были включены третья-пятая станции разреза, находящиеся под воздействием вод Мурманского течения. Характерной чертой вертикального строения вод на этой части разреза является то, что верхняя граница слоя скачка температуры не выходит на поверхность, а нижняя не опускается до дна (Рис. 2б). Градиент температуры в слое сезонного скачка имеет также высокие значения (максимум в августе около минус 0,9 °С/м), но период существования термоклина менее продолжителен, чем у станций первой группы.

Из-за меньшего влияния пресноводного стока у второй группы станций вертикальные градиенты солености в слое скачка ниже (максимум 0,01 м<sup>-1</sup>), чем на южных станциях (Рис. 3б). В рассматриваемом районе халоклин залегает относительно неглубоко, но его верхняя граница не выходит на поверхность. Слой скачка солености не опускается ниже глубины 100 м. Время его существования несколько меньше, чем у первой группы станций.

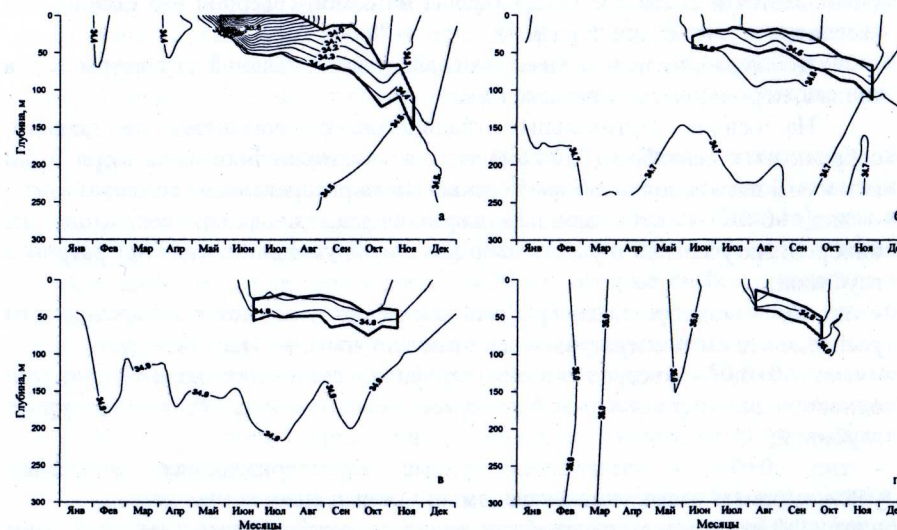


Рис. 3. Изменение халинной структуры в течение года на станциях разреза «Кольский меридиан», жирной линией выделены области значимых градиентов: а – 1 станция (69°30' с.ш., 33°30' в.д.), б – 3 станция (70°30' с.ш., 33°30' в.д.), в – 6 станция (72°00' с.ш., 33°30' в.д.), г – 10 станция (74°00' с.ш., 33°30' в.д.).

В третью группу были включены шестая – десятая станции разреза, режим вод в районе которых определяется влиянием Центральной ветви Нордкапского течения. Продолжительность «однородного» термического сезона у этой группы станций увеличивается и достигает 8 месяцев на десятой станции разреза (Рис. 2в, 2г). Значения градиентов в слое скачка несколько уменьшаются, и на самой северной станции не превосходят минус

0,07 °С/м. Положение границ термоклина за время его существования остается квазистационарным и не заглубляется ниже 75 м.

Характерным отличительным признаком вертикального строения вод в районе третьей группы станций является наличие придонной градиентной зоны. Градиенты температуры в этой зоне значительно ниже (около минус 0,03 °С/м), чем в слое скачка. Продолжительность существования градиентной зоны в придонном слое изменяется от двух месяцев на шестой станции до семи на десятой. У третьей группы станций существует промежуточный слой на глубинах 100-150 м, в который с одной стороны не проникает термоклин, с другой, не сказывается влияние придонной градиентной зоны.

В водах Центральной ветви Нордкапского течения (шестая – десятая станции разреза) положение границ слоя скачка солёности мало изменяется со временем (Рис. 3в, 3г). С увеличением широты, продолжительность периода, в течение которого прослеживается халоклин существенно уменьшается и составляет 2-2,5 месяца на самой северной (10 станция) из рассматриваемых станций разреза.

*Четвертая глава* посвящена анализу вертикальной структуры вод в теплые, нормальные и холодные годы.

На основе вертикальных градиентов, рассчитанных по данным, собранным в сентябре 1951-2000 гг., на акватории Баренцева моря были выделены пять основных форм вертикального распределения температуры:

- тип «0-0» – «убывающие» вертикальные профили, состоящие из однородных участков и участков со значимым уменьшением температуры с глубиной;
- тип «0» – «однородные» профили, характеризующиеся квазипостоянным распределением температуры воды от поверхности до дна;
- тип «0+0» – «возрастающие» профили, состоящие из совокупности однородных участков и участков со значимым увеличением температуры с глубиной;
- тип «0+0-» – «выпуклые» кривые, характеризующиеся значимым увеличением и последующим значимым уменьшением температуры;
- тип «0-0+» – «вогнутые» профили, имеющие значимое уменьшение, а затем значимое увеличение температуры воды с глубиной.

Проведено районирование акватории по типам профилей температуры воды. Показан доминантный тип кривых в разных водных массах и изменение характеристик профиля в зависимости от теплосодержания вод моря.

По результатам расчетов проанализирована изменчивость толщины ВКС в поле температуры (Рис. 4). Наличие ВКС характерно для большинства районов Баренцева моря, за исключением небольших участков в высоких, арктических широтах. В целом в теплые годы вертикальное развитие ВКС несколько больше, чем в холодные. Максимальной толщины однородный слой достигает в центральной части Баренцева моря в области

распространения атлантических вод. Минимальная толщина верхнего однородного слоя отмечается в районе о-вов Земля Короля Карла.

Проанализированы результаты расчета градиента температуры воды в слое скачка для разных по тепловому состоянию вод лет. Установлено, что градиент температуры воды в термокLINE больше в холодные годы. Максимальные значения градиента температуры воды характерны для юго-восточной части Баренцева моря (до минус 0,2 °С/м в холодные годы). Сильная стратифицированность вод на юго-востоке моря создается за счет большого контраста между хорошо прогретым ВКС и холодным слоем, подстилающим термоклин. Достаточно большие значения градиента температуры в слое скачка отмечаются в районах возвышенности Персея, Центральной возвышенности и на северо-востоке моря (минус 0,12 - минус 0,16 °С/м). Наиболее однородны по вертикали воды атлантического происхождения, которые в западной части Баренцева моря имеют градиент в термокLINE от минус 0,04 до минус 0,06. По мере продвижения атлантических вод в восточном направлении градиент в слое скачка увеличивается (до минус 0,08-минус 0,10). Однородное распределение температуры воды наблюдается вблизи п-ова Канин и на Шпицбергенской банке. Границы этих областей устойчивы во времени и пространстве и не зависят от теплового состояния вод.

Описана изменчивость вертикального развития термоклина в различные по тепловым условиям годы. В холодные годы слой скачка в полях температуры на акватории Баренцева моря тоньше (Рис. 5а), чем в теплые. Арктические воды в Баренцевом море имеют минимальные значения вертикального развития термоклина (20-30 м), которые слабо изменяются в разные по тепловому состоянию вод годы. Водные массы атлантического происхождения имеют большую изменчивость вертикального развития слоя скачка в зависимости от теплового состояния вод моря (от 50 м в холодные до 100 м в теплые годы). В прибрежной полосе Мурмана изменения вертикального развития термоклина схожи с колебаниями этого параметра в атлантических водах.

Выявлена зона максимального вертикального развития термоклина, которая имеет подковообразную форму и простирается от южной периферии Центральной возвышенности на юг и огибает Центральный желоб по западной, южной и юго-восточной границе (Рис. 5). Данная особенность порождается взаимодействием двух различных по физическим характеристикам водных масс, вследствие чего происходит вертикальная трансформация элементов термической структуры.



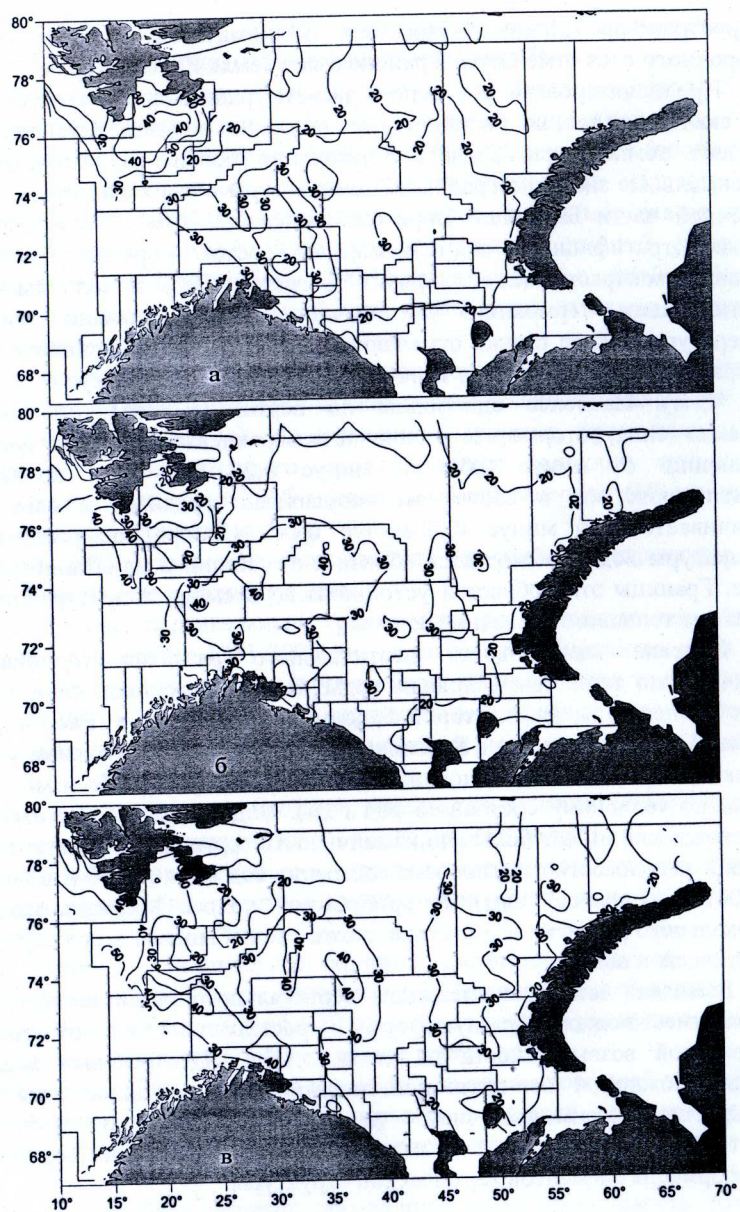


Рис.4. Вертикальное развитие верхнего квазигомогенного слоя в сентябре в поле температуры (м) в холодные (а), нормальные (б) и теплые годы (в)

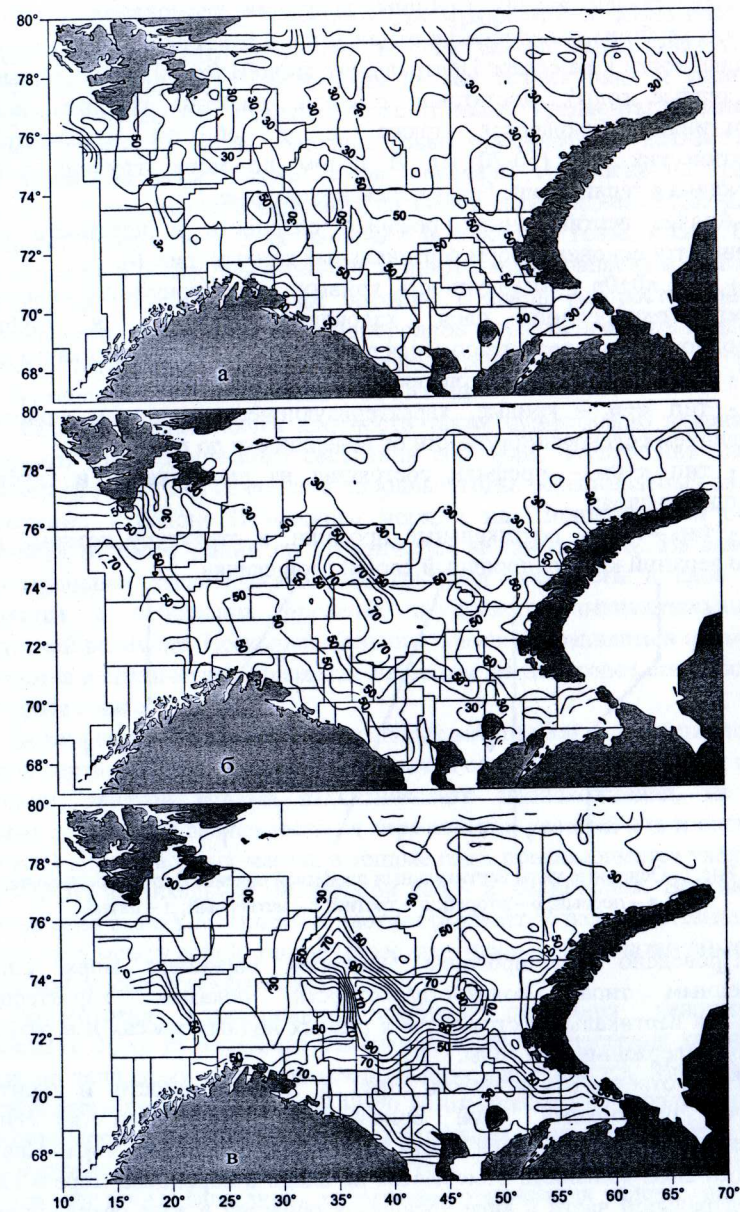


Рис. 5. Вертикальное развитие слоя скачка температуры (м) в сентябре в холодные (а), нормальные (б) и теплые годы (в)

Представлен анализ глубины залегания термоклина. Наибольшие значения глубины его залегания отмечаются в районах на юге Центральной возвышенности и на севере Центрального желоба (от 50 м в холодные до 90 м в теплые годы). Достаточно высокие значения глубины залегания термоклина наблюдаются также и в области распространения Атлантических вод (50-70 м). В целом по морю глубина залегания термоклина в теплые годы больше, чем в холодные.

Анализ вертикальных профилей солености и плотности показал наличие пяти основных форм вертикальных кривых (рис. 6):

- тип «0+0» – совокупность кривых, характеризующихся наличием верхнего однородного слоя, халоклина/пикноклина и глубинного однородного слоя, простирающегося от нижней границы слоя скачка до дна;
- тип «0» – однородное распределение по вертикали;
- тип «+» – кривые, характеризующиеся значимым монотонным повышением солености/плотности от поверхности до дна;
- тип «+0» – профили состоящие из слоя скачка и глубинного однородного слоя;
- тип «0+» – вертикальные профили, в структуру которых входят только верхний квазиоднородный слой и слой скачка.

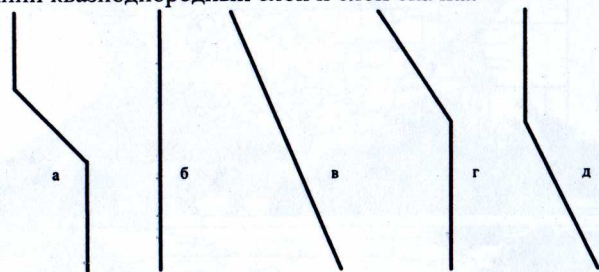


Рис. 6. Основные типы вертикальных профилей солености/плотности воды:  
а – первый; б – второй; в – третий; г – четвертый; д – пятый

Проведено районирование акватории Баренцева моря, согласно выделенным типам солености/плотности, показаны характеристики элементов вертикальной структуры в разных водных массах и в различные по теплосодержанию воды годы.

Рассмотрена изменчивость ВКС в поле солености и плотности. Верхний однородный слой солености и плотности в сентябре прослеживается на большей части акватории Баренцева моря. Наиболее развитый ВКС солености отмечаются на входе в Баренцево море и далее в его центральной части в виде локальных областей в зоне распространения вод атлантического происхождения. Наибольшего развития однородный слой в поле плотности достигает в центральной части моря. В теплые годы отмечается небольшое увеличение толщины ВКС в поле солености и плотности.

По данным анализа изменчивости градиента в халоклине было выявлено, что градиент солености в слое скачка имеет значительные межгодовые изменения, из-за разных сроков таяния льда и количества выпавших атмосферных осадков. Максимальные градиенты солености в халоклине ( $0,07-0,08 \text{ м}^{-1}$  в холодные годы) отмечаются в юго-восточной части Баренцева моря. Также резкие перепады солености на границах халоклина отмечаются на севере моря со значениями градиента  $0,03-0,04 \text{ м}^{-1}$ . Градиент солености в этих районах в холодные годы, может быть в полтора-два раза выше, чем в теплые. Минимальный градиент в слое скачка ( $0,005-0,01 \text{ м}^{-1}$ ) связан, главным образом, с зоной распространения вод атлантического происхождения. Однородное вертикальное распределение солености отмечается в неатлантических водных массах – в районе Шпицбергенской банки и в районе п-ова Канин.

Градиент в слое скачка плотности также существенно изменяется в зависимости от термического состояния вод моря. Увеличение значений градиента плотности отмечается в холодные годы. Максимальных значений он достигает в районе Печорского моря, а на Шпицбергенской банке и поблизости от п-ова Канин он практически не проявляется. На акватории распространения атлантических вод градиент плотности в слое скачка изменяется в небольших пределах и является незначительным по абсолютной величине. Несколько большие значения градиента в пикноклине отмечаются в арктических водах, где наблюдается некоторое его обострение в холодные годы.

Показана изменчивость вертикальных масштабов хало- и пикноклина. Степень вертикального развития слоя скачка солености и плотности на всей акватории, занятой водами атлантического происхождения, не имеет видимых различий в зависимости от термических условий вод и составляет 20-30 м. В других водных массах в теплые годы прослеживается увеличение (на 10-20 м) вертикальных масштабов хало- и пикноклина. Вертикальное развитие слоя скачка солености и плотности имеет четкое пространственное соответствие между собой, тем не менее, вертикальный масштаб пикноклина несколько больше, чем халоклина.

Рассмотрена изменчивость глубины залегания халоклина и пикноклина. Ярко выраженных изменений глубины залегания халоклина в разные по тепловому состоянию воды годы не наблюдается. Максимальные значения этого показателя (около 40-50 м) отмечаются на западной границе Баренцева моря. Наименьшие глубины залегания слоя скачка солености (30 м) обнаруживаются вблизи о-ва Колгуев. В холодные годы такие же значения глубины залегания халоклина отмечаются вдоль побережья Мурмана. Глубина залегания пикноклина мало изменяется в разные по тепловым характеристикам годы.

*Пятая глава* описывает результаты моделирования подъема икры трески (*Gadus morhua morhua*) у Лофотенских островов. Характеристики среды в период нереста являются важнейшим показателем при

формировании численности народившегося поколения. В связи с чем, рассмотрены условия вертикальной структуры вод в период нереста вблизи Лофотенских островов.

Представлен общий обзор сроков и мест нереста трески. Основные нерестилища северо-восточной арктической трески находятся в районе Лофотенского мелководья в зоне Норвежского прибрежного течения. Самый массовый нерест отмечается в Вест-фьорде с южной стороны Лофотенских островов, который начинается в первых числах марта, достигает максимальной интенсивности в первую неделю апреля и заканчивается к концу мая.

Сразу же после нереста икра пассивно, за счет сил плавучести, поднимается с горизонтов, где она выметывается, в поверхностный слой. Подъем икры обуславливается разностью ее плотности и плотности морской воды. По мере продвижения к поверхности икра испытывает воздействие физических, гидрохимических и прочих факторов, которые могут оказать влияние на дальнейшее ее развитие и выживание.

Температура воды в поверхностном слое к началу апреля достигает сезонного минимума (2,5 – 2,8 °С). В разные по тепловым характеристикам вод годы отмечаются значительные изменения в толщине ВКС (от 10 до 50 м), обуславливаемые изменением интенсивности Норвежского Прибрежного течения. Слой скачка в теплые годы залегает ближе к поверхности и имеет большие (на 0,01 °С/м) значения градиента температуры воды. Увеличение интенсивности течения в теплые годы отражается в повышенных значениях солености в промежуточных слоях. Понижение солености в верхнем 50-метровом слое в теплые годы происходит за счет увеличения выноса распресненных вод с юга. Градиент солености в слое скачка более обострен в теплые годы, чем в холодные. Основные различия в плотностной структуре вод отмечаются в верхнем 75-метровом слое. Наибольшая плотность в верхних слоях характерна для холодных лет, так как в эти годы отмечается пониженный фон температуры воды и повышенные значения солености. Еще одной рассматриваемой характеристикой является вязкость морской воды. Вязкость пропорциональна солености и обратно пропорциональна температуре воды. Значения вязкости убывают с глубиной, ее максимальные вертикальные градиенты наблюдаются в промежуточных слоях.

Представлены результаты расчетов скорости и времени подъема икры. Выявлено, что глубина залегания нижней границы термоклина, которая принималась за горизонт нереста, для теплых лет меньше (97 м), чем для холодных (147 м). Следовательно, путь, который необходимо пройти икре до поверхности, в теплые годы в полтора раза короче, чем в холодные. Согласно результатам расчетов максимальная скорость подъема икры наблюдается на нижней границе термоклина (от 1,27 мм/с в холодные, до 1,15 мм/с в теплые годы) (Рис. 7). По мере приближения к поверхности скорость подъема икры плавно уменьшается и в верхнем 50-метровом слое

остается практически неизменной (от 0,96-0,98 мм/с в холодные, до 0,78-0,82 мм/с в теплые годы). Время подъема икры от горизонта вымета до поверхности может колебаться в разные годы в пределах от 1,5 до 2 суток.

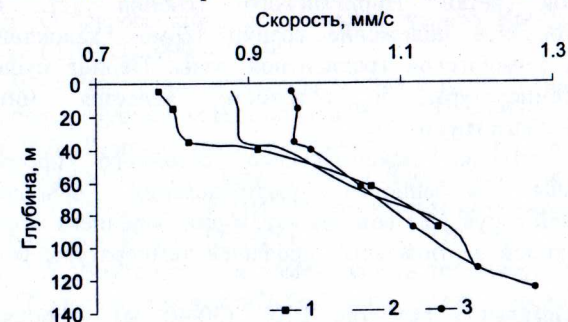


Рис. 7. Вертикальные профили скорости поднятия икры, в разные по тепловому состоянию вод годы: 1 – теплые; 2 – нормальные; 3 – холодные.

Глубина залегания термоклина в холодные годы ниже, поэтому времени на подъем икры затрачивается больше. При сопоставлении равных по величине участков (например, верхний 100-метровый слой) установлено, что в холодные годы затраты времени на подъем будут меньшими. В такие годы икра преодолевает данный слой за 27 часов, тогда, как в теплые - за 35.

Проведен анализ появления разных по численности поколений трески в зависимости от характеристик вод в период нереста. Установлено, что наиболее урожайные поколения появляются в годы, когда водные массы характеризуются повышенным термическим фоном и низкими значениями плотности морской воды.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Представлен метод кодирования профилей и принцип выделения основных элементов вертикального строения вод: толщины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), а также градиента, вертикального развития и глубины залегания слоя скачка.

Рассмотрена динамика изменения вертикальной термохалинной структуры вод в течение года на разрезе «Кольский меридиан». Анализ структуры вод позволил распределить станции разреза на 3 группы.

В водах Мурманского прибрежного течения (ст. 1-2) во время интенсивного радиационного прогрева и периода паводка (июнь-июль), отмечается выход верхней границы слоя скачка на поверхность с резким обострением градиентов (до 0,09 °С/м у температуры и до 0,05 м<sup>-1</sup> у солености). Разрушение термо-, халоклина наблюдается в начале ноября у дна.

Структура вод в зоне влияния Мурманского течения (ст. 3-5) также характеризуется значительным смещением границ слоя скачка температуры

и солености, но при этом верхняя граница зоны максимальных градиентов не выходит на поверхность, а нижняя не достигает дна.

Отличительной чертой вертикального строения вод в водах Центральной ветви Нордкапского течения (ст. 6-10) является квазистационарное положение границ термо-, халоклина и наличие придонной термической градиентной зоны. Период существования слоя скачка температуры и солености является минимальным из рассматриваемых групп.

Для периода максимального сезонного прогрева (сентябрь) представлены особенности распределения основных элементов вертикальной структуры вод. На акватории Баренцева моря выделено пять основных типов вертикальных профилей температуры воды, солености и плотности.

Максимальное развитие ВКС (30-40 м) в полях температуры, солености и плотности наблюдается в зоне распространения атлантических водных масс. В теплые годы верхний квазиоднородный слой толще (на 10 м), чем в холодные.

Наиболее высокие значения градиентов температуры (минус 0,14-минус 0,20 °С/м), солености (0,04-0,09 м<sup>-1</sup>) и плотности в слое сезонного скачка отмечаются в юго-восточной и северной частях моря. В холодные годы происходит обострение этих градиентов.

Максимальной толщины термоклин достигает в районах Центральной возвышенности и Центрального желоба (от 50 м в холодные до 100 м в теплые годы). Вертикальный размах слоя скачка солености и плотности мало изменяются в разные по тепловому содержанию вод годы и на большей акватории моря составляют 20-40 м.

Наибольшее заглубление термоклина (60-70 м), халоклина (40-50 м) и пикноклина прослеживаются в теплые годы на акватории распространения вод атлантического происхождения. Наименьшая глубина залегания слоя скачка рассматриваемых параметров отмечается вблизи о-ва Колгуев.

Разработана модель, с помощью которой можно рассчитывать скорость и время подъема икры с горизонтов нереста до поверхности.

Установлено, что скорость всплытия икры в холодные годы выше, чем в теплые. Основные различия в скорости подъема наблюдаются в верхнем 50-метровом слое. Икра в холодные годы поднимается в верхнем 100-метровом слое на 8 часов быстрее.

Урожайные поколения трески появляются при повышенном термическом фоне и пониженных значениях плотности морской воды во время нереста.

#### Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Ившин В.А. Классификация вертикальных профилей температуры воды.// Тез. докл. XI Всеросс. конф. по промысл. океанол. Кал-д, 14-18 сент. 1999. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – С. 24.
2. Ившин В.А. Вертикальная термохалинная и плотностная структура вод Баренцева моря. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2004. – 99 с.
3. Ившин В.А. Влияние океанографических условий на скорость и время подъема икры на нерестилищах трески у Лофотенских островов//Тез. докл. отчет. сессии ПИНРО и СевПИНРО по итогам науч.-исслед. работ в 2001-2002 гг. -Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – С. 110-112.
4. Ившин В.А. Внутригодовая изменчивость термической структуры вод на разрезе "Кольский меридиан"//Тез. докл. отчет. сессии ПИНРО и СевПИНРО по итогам науч.-исслед. работ в 2001-2002 гг. -Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – С. 109-110.
5. Ившин В.А. Особенности подъема икры разной плотности на нерестилищах трески у Лофотенских островов//Тез. докл. IX Всеросс. конф. по пробл. промысл. прог.: К 100-летию со дня рожд. Т.С. Расса (1904-2001). – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2004. – С.165-166.
6. Ожигин В.К., Ившин В.А. Водные массы Баренцева моря. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. – 48 с
7. Ожигин В.К., Ившин В.А. Водные массы Баренцева моря.//Тез. Докл. XI Всероссийск. конф. по промысл. океанол. Кал-д, 14-18 сент. 1999.- М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – С. 31.
8. Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. Зависимость роста аркто-норвежской трески (*Gadus morhua morhua*) от условий откорма мойвой и температуры воды//Вопросы ихтиологии. – 1995. – Т. 35 – № 3 – С. 334-342.
9. Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. Океанографические условия Баренцева моря и их влияние на выживание и развитие молоди северо-восточной арктической трески. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. – 88 с.
10. Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. Рост аркто-норвежской трески. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1996. – 60 с.
11. Трофимов А.Г., Ившин В.А. Моделирование динамических процессов, влияющих на выживаемость трески (*Gadus morhua* L.) Баренцева моря в раннем онтогенезе// Актуальные проблемы изучения и использования водных биоресурсов: материалы 2-й Всерос. Интернет-конф. молод. учен. - Версия электрон. ресурса с сайта <http://www.tinro-center.ru/>. - Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. – С. 247-251
12. Ozhigin V.K., Trofimov A.G., Ivshin V.A. The Eastern Basin Water and currents in the Barents Sea// ICES C.M. 2000/L: 14. –19 p.

13. Trofimov A.G., Ivshin V.A., Mukhina N.V. Modelling of dynamic processes influencing the Barents Sea cod (*Gadus morhua morhua* L.) survival in early life history//ICES C.M. 2004/P:01. – 14 p.

14. Trofimov A.G., Ivshin V.A., Mukhina N.V. The impact of eggs vertical ascent speed and water dynamics on abundance and survival of the north-east arctic cod (*Gadus morhua morhua* L.) In the Barents Sea at early life stages//ICES C.M. 2003/O:04. – 14 p.



---

Подписано в печать 13.02.06 г.

Уч.-изд.л. 1,7      Усл.печ.л. 1,4.

Заказ 4.

Формат 60x84/16.

Тираж 100 экз.

---

183038, Мурманск, ул.Книповича, 6, ПИНРО.