

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БОЙЦОВ ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
И КОЛЕБАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ МОЛОДИ
ТРЕСКИ и ЭВФАУЗИИД
БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

(специальность II.00.08 - океанология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ленинград
1990

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

Научный руководитель:
кандидат географических наук А. П. Алексеев

Официальные оппоненты:
доктор географических наук А. Е. Антонов
кандидат географических наук В. А. Плотников

Ведущая организация:
Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО)

Защита
на заседании
Ленинского
адрес

час.
.19.01
ута по
кт, 98.

С дис

ЛГМИ

Авто

90 г.

Учен
спе

Карлин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь. Планирование объемов вылова морских гидробионтов базируется на оценках величины их запасов, сложные межгодовые колебания которых в значительной степени зависят от изменчивости пополнения промысловых объектов. Уровень же пополнения формируется в период ранних стадий развития организмов, когда велико влияние абиотических факторов на их выживание. Поэтому большую экономическую и природоохранную значимость имеют исследования изменчивости параметров состояния водных масс, в которых проходит развитие гидробионтов, и математическое моделирование динамики численности молоди и взрослых особей с учетом особенностей воздействия на них физико-химических процессов, протекающих в атмосфере и гидросфере. Такие модели межгодовых колебаний численности основного промыслового вида рыб Баренцева моря - аркто-норвежской трески и кормового зоопланктона - эвфаузиид необходимы для создания комплекса мер по рациональной эксплуатации биологических ресурсов этого водоема.

Ц е л и и з а д а ч и. Основная цель исследований - разработка методов прогноза численности молоди аркто-норвежской трески (*Gadus morhua* L.) и молоди одного из её важных кормовых объектов - баренцевоморских эвфаузиид на основе выявления степени и специфики воздействия на эти виды океанографических факторов. Достижение поставленной цели осуществлялось путем последовательного решения двух задач: первая включала поиск и анализ закономерностей пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических показателей, характеризующих условия обитания организмов, а вторая состояла в том, чтобы с помощью математических методов выделить функционально важные для развития моло-



ди трески и эвфаузиид факторы среды и определить параметры моделей динамики численности гидробионтов.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Впервые для Баренцева моря выявлен спектральный состав сезонных и многолетних колебаний индексов зонального, меридионального и результирующего переноса воздушных масс, а также установлены особенности пространственной изменчивости их интенсивности. Показана возможность использования этих индексов при изучении влияния атмосферной циркуляции на формирование неоднородностей в распределении океанографических характеристик и при анализе её косвенного воздействия на биологические процессы в Баренцевом море. Определены параметры внутригодового хода температуры воды на различных горизонтах и время наступления гидрологических сезонов. Эти показатели использовались в качестве абиотических факторов при исследовании влияния среды обитания гидробионтов на динамику их численности.

Впервые установлена частотная структура межгодовых колебаний численности молоди баренцевоморских эвфаузиид *Thysanoessa inermis* (Croyer) и *Thysanoessa raschii* (M. Sars), а также некоторых гидрометеорологических показателей. Определена степень сопряженности адекватных по периоду квазипериодических изменений численности молоди макропланктона и параметров среды. С помощью информационно-логического анализа, ранее не применявшегося в научно-промышленных исследованиях, установлены основные факторы, регулирующие урожайность поколений аркто-норвежской трески на стадии молоди.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь. Результаты выявленных закономерностей внутригодовых изменений температуры воды и продолжительности гидрологических сезонов в южной части Баренцева моря представлены в научно-справочном пособии "Моря

СССР" и в рекомендациях ПИНРО по промыслу рыбных и нерыбных объектов в прибрежной зоне Мурмана. Методический прием, предложенный в работе для выделения и анализа сопряженности адекватных по периоду квазипериодических колебаний численности эвфаузиид и гидрометеорологических показателей, может быть использован при поиске параметров моделей динамики численности других гидробионтов. Разработанные схемы заблаговременной оценки численности молоди эвфаузиид (заблаговременность около шести месяцев) и трески (заблаговременность около года) применяются в прогностической практике Полярного института для предсказания состояния кормовой базы рыб и определения величины пополнения промыслового стада трески.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всесоюзных конференциях по промышленной океанологии (Калининград, 1979) и промысловому прогнозированию (Мурманск, 1983, 1989), III советско-норвежском симпозиуме (Мурманск, 1986), Всесоюзном совещании "Полярная метеорология на службе народного хозяйства" (Мурманск, 1989). В полном объеме диссертация докладывалась на отчетной сессии Ученого совета ПИНРО (1990), межлабораторных семинарах ПИНРО (1990) и ЛГМИ (1990).

П у б л и к а ц и и. По теме диссертации опубликовано II работ, из них 2 в соавторстве.

С т р у к т у р а и о б ъ е м д и с с е р т а ц и и. Содержание диссертации изложено на 108 страницах машинописного текста, иллюстративный материал представлен 26 рисунками и 7 таблицами. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 192 наименований, из них 42 на иностранных языках, и приложения, в которое включены дополнительные таблицы

и тексты программ, составленных автором и использованных для расчетов на ЭВМ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются перспективность и актуальность выбранной темы, определяются цели и задачи исследований, показаны научная новизна, практическая ценность результатов, логическая связь отдельных этапов (глав) работы. Эта связь состоит в том, что результаты анализа особенностей сезонной и межгодовой изменчивости интенсивности воздушных потоков над водной поверхностью Баренцева моря и температуры его вод, как факторов, имеющих большую экологическую значимость для гидробионтов, использовались при изучении влияния гидрометеорологических процессов на урожайность поколений эвфаузиид. Но поскольку этот отряд ракообразных является важным кормовым объектом аркто-норвежской трески, то обнаруженные закономерности межгодовых колебаний параметров абиотической среды и численности эвфаузиид учитывались при разработке моделей динамики численности молоди трески. Экологическим обоснованием исследований по данной схеме является то, что гидробионты и факторы окружающей их среды, особенности изменчивости которых нами изучались, представляют собой компоненты одной экосистемы Баренцева моря.

В первой главе приводятся результаты анализа пространственно-временной изменчивости интенсивности зональных и меридиональных воздушных переносов над Баренцевым морем, которые, участвуя в формировании океанографических условий продуктивности вод, косвенно воздействуют на биологические процессы и явления в водной среде. В качестве количественных параметров динамического состояния атмосферы в работе использованы пять разновидностей индексов, предложенных А. Л. Кацем (1960) и

К. В. Кондратовичем (1975), а также шесть производных от них показателей, рассчитанных нами за период с 1901 по 1982 гг. для отрезков меридианов 20° , 40° и 60° в.д. между $70-80^{\circ}$ с.ш. и на участке параллели 70° с.ш. между $10-30^{\circ}$ и $30-50^{\circ}$ в.д.. Для исследования структуры внутригодовых и многолетних колебаний интенсивности воздушных потоков был применен метод спектрального анализа (Григоркина, Губер, Фукс, 1973; Schichedanz, Bowen, 1977).

Расчет статистических оценок, характеризующих отдельные составляющие сезонных колебаний интенсивности воздушных потоков над Баренцевым морем, позволил выявить наличие у большинства показателей циркуляции атмосферы доминирующего ритма с периодом 12 месяцев. Слабо выражена годовая цикличность в изменениях индексов западного (J_w) и северного (J_n) переносов воздуха, у которых в спектрах внутригодовых колебаний преобладают вариации длительностью 5-6 и 9-10 месяцев соответственно.

В течение года над Баренцевым морем в зональном переносе результирующими являются восточные потоки воздуха, интенсивность которых в холодный период с ноября по апрель в 1,6 - 2,2 раза превышает западную составляющую. Максимум сезонного хода всех показателей зональной циркуляции атмосферы чаще всего наступает в феврале-марте, а минимум в июне-июле. В это время наблюдается соответственно увеличение и уменьшение межгодовой изменчивости индексов воздушных переносов.

Спектральная структура межгодовых колебаний показателей интенсивности зональных воздушных потоков над Баренцевым морем характеризуется тремя группами периодичностей: трендовые изменения, продолжительностью 15-29 лет и вариации длительностью 3-8 лет. Вклад тренда в общую изменчивость индексов зональной циркуляции атмосферы достигает 30-40%. Исключения составляют пока-

затели восточного переноса, у которых тенденция выражена слабо. Амплитуда межгодовых колебаний всех индексов зональных воздушных потоков больше амплитуды их сезонных изменений. Минимальное превышение имеет восточный перенос (1,3 раза), максимальное - западный (3,2 раза).

В сезонных изменениях интенсивности переноса воздуха над Баренцевым морем в меридиональном направлении на протяжении большей части года установлено преобладание южных воздушных потоков над северными, достигающее в декабре-феврале двукратного превышения. В мае и июне обычно скорость перемещения воздуха с севера выше, чем с юга.

Существенный вклад в общую изменчивость показателей меридионального переноса воздушных масс над южной частью Баренцева моря вносят их межгодовые колебания, амплитуда которых соизмерима или больше амплитуды сезонных климатических изменений. Анализ спектральной структуры колебаний интенсивности меридиональных воздушных потоков показал, что в межгодовые изменения индексов циркуляции (J_m), воздухообмена (J_n) и северного переноса (J_n) значительный вклад вносят трендовые компоненты (соответственно 18, 48 и 42%). У показателей южных потоков воздушных масс (J_s) тренд выражен слабо. Полициклическая изменчивость индексов меридиональных переносов проявляется в наличии, помимо тенденций, вариаций продолжительностью у J_m 24 года и 13 лет, J_n и J_s - 12-15 и 3-5 лет, J_n - 23, 12 и 8 лет.

В течение всех сезонов интенсивность зонального воздухообмена J_z (интегральный показатель переноса воздуха в зональном направлении) над Баренцевым морем больше меридионального J_m (интегральный показатель циркуляции атмосферы вдоль меридианов). С мая по октябрь это превышение является незначи-

тельным, тогда как в остальную часть года интенсивность зонального переноса в 1,2 - 1,3 раза превосходит интенсивность меридионального. В холодный период, когда наблюдается усиление ветровой деятельности над морем, результирующий поток воздуха имеет северо-западное направление. В июне-августе циркуляционные процессы ослабевают и преобладающим в это время является восточный перенос. Это хорошо согласуется с данными береговых гидрометеорологических станций.

Анализ сопряженности межгодовых изменений индексов циркуляции атмосферы и гидрофизических, а также промыслово-биологических показателей позволил установить, что параметры интенсивности воздушных потоков могут быть использованы при изучении влияния факторов среды на динамику численности и распределение гидробионтов.

Во второй главе рассмотрены особенности сезонных изменений температуры воды Баренцева моря. Этот параметр термодинамического состояния водных масс занимает особое место среди экологически важных факторов среды, поскольку оказывает сильное прямое и косвенное влияние на развитие морских организмов всех трофических уровней. Изменчивость температуры воды в Баренцевом море носит полициклический характер с хорошо выраженной годовой периодичностью, которая в определенной степени обуславливает сезонный ритм в развитии биологических процессов, играющих исключительно важную роль в жизни гидробионтов умеренных и полярных широт.

По многолетним наблюдениям (1921-1985 гг.) на основных стандартных разрезах южной части Баренцева моря нами были определены параметры климатического сезонного хода температуры воды и установлено время запаздывания его экстремумов с глубиной.

На горизонте 200 м минимум температуры воды наступает на I-2, а максимум — на 3-4 месяца позже, чем в поверхностном слое. Сроки начала кормовых и зимовально-нерестовых миграций рыб в Баренцевом море связаны с моментами появления в годовом ходе экстремальных значений температуры воды. Это наиболее заметно у донных гидробионтов. Установлено, что начало летней миграции трески на восток может задерживаться, если минимум температур воды придонного слоя наступает позже обычного. При сдвиге сезонного максимума температуры воды у дна на более поздние сроки продолжительность откорма трески в юго-восточных районах Баренцева моря увеличивается и поэтому чаще всего происходит задержка зимовально-нерестовых миграций рыбы на запад.

Интенсивность и объем поступающих в Баренцево море относительно теплых и соленых вод атлантического происхождения, а кроме того степень их трансформации и взаимодействия с арктическими и прибрежными водами, также испытывают сезонные изменения. Это вызывает внутригодовые вариации пространственного положения границ основных водных масс водоема, что часто влечет за собой сдвиг ареала гидробионтов и другие явления в экосистемах. Поэтому данные о соотношениях объемов вод разного генезиса могут служить в качестве индикаторов состояния среды обитания организмов при исследованиях воздействия океанографических условий на биосенсоны.

Климатическое положение границ водных масс юго-западной части Баренцева моря и характер внутригодовой изменчивости их пространственной структуры в работе определялись в вертикальной плоскости разрезов м. Нордкап — о-в Медвежий (№3), по 30° в. д. (№4) и "Кольский меридиан" (№6) для четырех сезонов. В качестве основного приема выделения водных масс был использован метод "норм", который базируется на наличии тесной линейной зависимос-

ти между температурой и соленостью вод системы Гольфстрима и её отсутствии для неатлантических вод (Адров, Смоляр, 1987). При этом в схему расчета нами введены коррективы на сезонную изменчивость температуры воды верхнего 100-метрового слоя, в пределах которого в Баренцевом море внутригодовые колебания данного параметра велики.

Анализ положения границ водных масс и изменчивости их T,S-индексов в юго-западной части Баренцева моря показал, что в холодный период года в слое 0-200 м атлантическая вода, пройдя расстояние от разреза м. Нордкап — о-в Медвежий до разреза "Кольский меридиан", в среднемноголетнем охлаждается на 1,6 - 2,0 °C, а в теплый сезон температура воды уменьшается на 0,9 - 1,2 °C. Минимальное понижение солености воды верхнего 200-метрового слоя в стречне потока атлантических вод на этом отрезке наблюдается летом (0,02-0,04%), а максимальное — весной (0,06-0,13%).

Участок разреза "Кольский меридиан" между 3-ей ($\varphi = 70^{\circ}30'$ с.ш., $\lambda = 33^{\circ}30'$ в.д.) и 7-ой ($\varphi = 72^{\circ}30'$ с.ш., $\lambda = 33^{\circ}30'$ в.д.) станциями от поверхности до 200 м занимают не атлантические воды, как это считается, а смешанные (атлантические с прибрежными). Поэтому изменчивость показателей этих вод зависит не только от особенностей их колебаний в атлантической водной массе до момента её взаимодействия с прибрежными водами, но и от изменений параметров самих прибрежных вод, а также от процентного содержания каждой из них в смеси.

Кроме внутригодовых изменений пространственное положение границ водных масс испытывает и межгодовые колебания. Как показал анализ, объем атлантических вод в южной части Баренцева моря возрастает в гидрологически теплые годы, а в аномально холод-

ные эта водная масса может совсем здесь отсутствовать в "чистом виде". Это приводит к ряду биологических последствий. На примере холодного 1978 и теплого 1983 годов показано, что одной из причин значительных различий урожайности поколений трески, пикши и зоопланктона являются неодинаковые условия заноса их икры и личинок из Норвежского моря в южную часть Баренцева моря. К числу важных показателей условий перераспределения ранних стадий гидробионтов в пределах ареала относится объём поступающих в Баренцево море атлантических и прибрежных вод, в которых происходит дрейф икры и личинок на восток. В 1978 г. объём атлантических вод в южной части Баренцева моря был мал, а поколение рыб и зоопланктона оказалось бедным. В 1983 г., напротив, отмечалось значительное увеличение объёма вод атлантического происхождения и мурманской прибрежной водной массы в исследуемом водоёме, что послужило одной из причин формирования высокой численности этого поколения гидробионтов.

В течение года меняются не только абсолютные значения температуры воды, но и характер её вертикального распределения. Существование различий в степени стратификации водных масс, наиболее ярко выраженных между зимним (квазиизотермия) и летним (наличие резкого термоклина) периодами, позволило нам использовать этот признак для выделения гидрологических сезонов в Баренцевом море.

Гидрологическая зима является самым продолжительным сезоном и длится от пяти месяцев в прибрежной зоне Мурмана до семи месяцев в районе глубоководной западной части Баренцева моря. Обычно зима начинается в ноябре и заканчивается во второй половине мая. Продолжительность весны на западе моря составляет два месяца и сокращается до одного на востоке. У берегов Мурмана

этот сезон наступает на месяц раньше, чем в мористых районах. Анализ сопряженности многолетних изменений сроков начала и продолжительности весны в южной части Баренцева моря показал, что при раннем развитии весенних гидрологических процессов продолжительность весны как правило увеличивается. При позднем наступлении этого сезона происходит быстрое развитие стратификации вод верхнего 100-метрового слоя.

Летний сезон в южной части Баренцева моря длится около трех месяцев, но на западе водоёма в атлантических водах он в два раза короче. Здесь и в центральных частях моря в первой половине октября (на месяц раньше, чем на востоке) начинают развиваться гидрологические процессы, характерные для осени, продолжительность которой везде одинакова - около полутора месяцев.

Выполнено сопоставление сроков начала и длительности гидрологических сезонов и годового хода численности фитопланктона в атлантических водах Баренцева моря. Существует хорошая согласованность в изменениях численности водорослей и границ гидрологических сезонов. В годовом цикле развития фитопланктона особое значение имеет весенний период, когда закладывается уровень первичной продуктивности вод данного года. Этот сезон является важным также для зоопланктона и рыб, поскольку у них в это время появляется потомство. Поэтому данные о сроках начала и продолжительности гидрологической весны в южной части Баренцева моря использовались в настоящей работе вместе с другими гидрометеорологическими параметрами в качестве факторов среды при выявлении их влияния на динамику численности молоди двух массовых (около 90% от общего фонда) аркто-бореальных видов эвфаузиид *Gh. inermis* и *Gh. gaschii*, важных кормовых объектов пелагических и донных рыб. Результаты этих исследований изложены в третьей главе.

Наиболее многочисленной возрастной группой баренцевоморских эвфаузиид является молодь (возраст 0+), по уровню численности которой можно судить об урожайности каждого поколения и величине ежегодного пополнения кормовой базы рыб. Учитывая большую практическую значимость сведений о состоянии объектов питания рыб, в настоящей работе рассмотрены особенности межгодовых колебаний численности молоди *Th. inermis* и *Th. gaschii* по данным многолетних (1952-1985 гг.) наблюдений, проводимых Полярным институтом, за распределением и численностью зоопланктона в Баренцевом море.

Главным регулятором урожайности поколений эвфаузиид (они относятся к группе макропланктона) считается смертность особей на ранних стадиях их развития, уровень которой в значительной степени зависит от изменчивости факторов внешней среды во время воспроизводства и выживания молоди (Дробышева, 1985). Поэтому нами были отобраны гидрометеорологические параметры, период действия которых приходится на весенний и летний сезоны, когда развиваются икра, личинки и ранняя молодь макропланктона. В качестве основных абиотических факторов, оказывающих влияние на условия формирования численности поколений эвфаузиид, использовались: 1) температура верхнего слоя воды, 2) сроки начала и продолжительность гидрологической весны, которые определяют интенсивность развития весенне-летней вегетации фитопланктона, являющегося кормом эвфаузиид, 3) показатель интенсивности и направленности атмосферной циркуляции у поверхности моря, косвенно регулирующий расселение молоди макропланктона на акватории Баренцева моря.

Первоначально с помощью корреляционного анализа была выполнена оценка тесноты стохастической связи межгодовых колебаний показателя численности молоди двух видов эвфаузиид и выб-

ранных гидрометеорологических параметров. Расчеты показали, что коэффициенты как парной, так и множественной корреляции при различном сочетании абиотических факторов являются статистически малодостоверными. Однако полученные результаты могут свидетельствовать не об отсутствии воздействия показателей внешней среды на урожайность поколений эвфаузиид, а о том, что рассматриваемые процессы имеют полициклический характер и формируются из составляющих разных временных масштабов, т.е. наблюдаемые колебания представляют собой суперпозицию более простых, устойчивых во времени квазициклических колебаний разного периода и амплитуды. При этом доминантные компоненты, входящие в состав сложных колебаний сопоставляемых параметров, могут быть генетически и статистически не связаны между собой, тогда как между другими периодичностями существует сопряженность, и наоборот. Это предположение нами было принято в качестве рабочей гипотезы, проверка которой состояла в исследовании частотной структуры колебаний численности молоди эвфаузиид и гидрометеорологических факторов, оказывающих влияние на выживание организмов в раннем онтогенезе, а также сопоставление доминирующих в спектрах этих параметров циклическостей.

На первом этапе анализа из исходных рядов динамики показателей урожайности поколений *Th. inermis* и *Th. gaschii* и выбранных параметров среды методом наименьших квадратов были выделены трендовые компоненты и найдены их аналитические выражения. Расчеты показали наличие в многолетних колебаниях численности молоди этих двух видов макропланктона полиномиальных трендов третьей степени, вклад которых в общую изменчивость величины пополнения *Th. inermis* составляет около 22% и *Th. gaschii* - 49%. Уравнения трендовых составляющих имеют следующий вид:

$$\text{Th. inermis: } Y_{\text{TP}} = 1,4777 + 0,0359T + 0,0017T^2 - 0,0001T^3,$$

$$\text{Th. raschi: } Y_{\text{TP}} = 1,4909 + 0,0831T - 0,0010T^2 - 0,0002T^3,$$

где T - независимая переменная (время).

Исследования причин существования определенного вида тенденций в колебаниях урожайности поколений эвфаузид южной части Баренцева моря позволили установить, что они являются результатом комплексного влияния долгопериодных изменений следующих факторов, каждый из которых вносит определенный вклад в процесс медленно меняющихся условий развития организмов в раннем онтогенезе: температура воды, продолжительность гидрологической весны, интенсивность воздушных потоков западного направления над морской поверхностью, численность основных видов рыб, питающихся зоопланктоном.

После выполненного анализа тренды элиминировались путём их вычитания из исходных рядов динамики тех показателей, в которых тенденции составляли от общей изменчивости 10% и более. Это позволило устранить или сильно уменьшить нестационарность процессов по математическому ожиданию. Затем все выборки были подвергнуты высокочастотной фильтрации методом скользящей средней с линейным и нелинейным распределением весовых функций. Выбор этого приема для разделения сложных по частотной структуре колебаний на ряд компонент различной продолжительности основан на том, что обычно изменения составляющих гидрометеорологических и биологических показателей не носят строго регулярный характер, а их периодичность проявляется только в среднем. Поэтому аппроксимировать такие квазициклические колебания периодическими функциями (например, разложением на гармонические составляющие) является нецелесообразным.

В результате проведенной высокочастотной фильтрации с по-

мощью скользящего среднего было выявлено, что в многолетних изменениях численности молоди *Th. inermis* присутствуют квазициклические колебания длительностью 13-14 и 6-8 лет, которые вносят соответственно 18 и 29% в общую изменчивость этого показателя. Аналогичные периоды изменений на том же временном отрезке имеют средняя температура воды (X_1) слоя 0-50 м на разрезе "Кольский меридиан" в апреле-июле (12-13 лет) и продолжительность гидрологической весны (X_2) в юго-западной части Баренцева моря (6-8 лет). Оценка сопряженности выявленных квазициклических колебаний численности молоди эвфаузид (Y) и океанографических факторов показала наличие высокой корреляционной связи между ними при опережающем на год изменении параметров среды ($R = 0,908$, $n = 27$). Эта связь аппроксимируется следующим уравнением множественной регрессии:

$$Y = 0,703 + 0,524 X_1 - 0,029 X_2.$$

После исключения квазициклических низкочастотных компонент из ряда динамики численности молоди *Th. inermis* были получены оценки значений, характеризующие короткопериодные флуктуации пополнения макропланктона с периодом 2-4 года, вбирающие около 30% дисперсии. В результате поиска наиболее информативных факторов среды, оказывающих влияние на урожайность поколений *Th. inermis* в диапазоне этих колебаний, выявлены три параметра, изменения средней величины нормированных значений (X) которых хорошо согласуются с межгодовыми высокочастотными флуктуациями индекса пополнения эвфаузид (Y). Коэффициент корреляции этой связи равен $r = 0,785$, ($n = 28$), а уравнение регрессии имеет следующую запись:

$$Y = 0,426 X - 0,012.$$

Обработка данных выборки, характеризующей многолетнюю дина-

мику численности другого вида баренцевоморских эвфаузиид *Th. raschii* в возрасте 0+, с исключенной тенденцией методом скользящей средней также позволила выявить в изменениях этого показателя квазипериодические колебания продолжительностью около 14 лет, вклад которых в общую изменчивость составляет 18%. Вариации аналогичного периода обнаружены в колебаниях средней температуры воды слоя 0-50 м в мае-августе и разности между температурой воды этого слоя в июле и мае в юго-восточной части Баренцева моря. Наибольшая сопряженность между изменениями численности молоди *Th. raschii* (Y) и параметром теплового состояния водных масс (X) на частоте квазичетырнадцатилетних колебаний (она была аппроксимирована полиномом второй степени) имеет место при сдвиге показателя урожайности макропланктона на один год вперед ($R = 0,967$). Уравнение этой связи имеет следующий вид:

$$Y = 0,119 + 0,472 X - 0,040 X^2.$$

После исключения из исходного ряда динамики относительного показателя численности молоди *Th. raschii* трендовой и квазичетырнадцатилетней компонент в остатке были получены значения, характеризующие короткопериодные флуктуации этого параметра продолжительностью 2-3 года, вклад которых составляет около 33% общей изменчивости этого показателя. С помощью такой же вычислительной процедуры удалось выделить высокочастотные колебания аналогичного периода в изменениях комплексного показателя теплового состояния водных масс верхнего 50-метрового слоя в мае-августе в восточной части Баренцева моря. С помощью скользящего корреляционного анализа межгодовых короткопериодных изменений этого параметра и индекса численности молоди *Th. raschii* установлено, что знак связи между ними меняется через семь лет. При этом положительная корреляция наблюдается на вет-

ви подъема квазипериодической 14-летней компоненты, а в течение последующих семи лет до наступления минимума долгопериодной составляющей - отрицательная. Наличие постоянного периода, с которым меняется знак связи в течение достаточно продолжительного времени (31 год), позволяет сделать предположение о возможности сохранения такой структуры колебаний сопоставляемых показателей и в дальнейшем. Поэтому для предсказания изменений урожайности поколений этого вида макропланктона были найдены регрессионные уравнения, аппроксимирующие положительную и отрицательную связи между численностью молоди эвфаузиид и параметрами среды.

Таким образом, межгодовые изменения численности молоди эвфаузиид южной части Баренцева моря в возрасте около года $Y(t)$ формируется в результате наложения друг на друга трендовой составляющей $z(t)$, имеющей вид полинома третьей степени, квазипериодических $g(t)$ долгопериодных компонент (13-14 и 6-8 лет для *Th. inermis* и около 14 лет для *Th. raschii*) и высокочастотных 2-4-летних вариаций $f(t)$. В общем виде это можно записать:

$$y(t) = z(t) + g(t) + f(t).$$

Наличие идентичных периодов колебаний в спектрах некоторых гидрометеорологических параметров и тесной сопряженности с квазипериодическими изменениями величины урожайности макропланктона позволило разработать схему покомпонентного прогноза численности молоди *Th. inermis* и *Th. raschii* с заблаговременностью около шести месяцев. При этом эффективность метода на зависимом материале в сравнении с климатическим методом составила для первого вида 20%, а для второго - 24%. Это позволило использовать данную схему расчета в практической деятельности ПИПРО. Существование сложной внутренней структуры колебаний численности молоди эвфаузиид предполагает постоянный контроль за характером изме-

нений во времени каждой компоненты и проверку степени сопряженности с ними составляющих абиотических факторов.

В четвёртой главе представлены результаты разработки прогностических моделей динамики численности аркто-норвежской трески в возрасте неполных двух (1+) и трех (2+) лет. Сведения о мощности поколений трески на стадии молоди используются Полярным институтом для определения величины пополнения промыслового стада рыбы в южной части Баренцева моря.

Для создания схем прогноза промыслово-биологических показателей обычно применяются методы корреляционного и регрессионного анализов. Однако использование регрессионных моделей в промысловом прогнозировании нередко приводит к значительным ошибкам, поскольку коэффициенты уравнений, оцениваемые чаще всего по коротким выборкам, быстро изменяются во времени. Это связано с тем, что данные многих измеряемых параметров нестационарны по математическому ожиданию и дисперсии, их распределение отличается от нормального, а причинно-следственные связи в системе организм-среда в большинстве случаев многофакторны и нелинейны.

Для разработки прогностических моделей динамики численности молоди трески нами использован информационно-логический анализ, так как для его применения перечисленные выше трудности не являются препятствием (Эшби, 1966). В биологических системах функционирование организмов зависит от целого комплекса факторов, имеющих разное экологическое значение и вес. В информационно-логическом анализе для определения степени эффективности передачи информации от каждого фактора к изучаемому явлению, а также для установления их приоритета по силе воздействия на гидробионты используется коэффициент связи, вычисляемый по формуле:

$$K_X = I_{Y,X} / H(X),$$

где K_X - коэффициент связи; $I_{Y,X}$ - количество информации, передаваемое от фактора X к явлению Y ; $H(X)$ - энтропия фактора X .

Поиск наиболее устойчивых каналов связи и расчет индексов её силы нами проводились по данным учета отдельных поколений трески в южной части Баренцева моря за период с 1952 по 1962 годы, а также 18 факторов для молоди в возрасте неполных двух и 21 фактора для молоди в возрасте неполных трех лет. Исходные данные всех параметров были представлены в непараметрическом виде - в баллах. При этом использовался квазиравновероятностный трехбалловый интервал разброса диапазона изменчивости каждого фактора. Представление исходных данных в непараметрическом виде позволяет с помощью информационно-логического анализа оценить силу связи не только между явлением и факторами в целом, но и между отдельными диапазонами состояний сопоставляемых параметров. Перекодировка также дает возможность частично устранить имеющиеся систематические и случайные ошибки в изменениях океанографических и особенно промыслово-биологических показателей, которые очень трудно определить и отфильтровать другими способами.

Уровень численности определенного поколения аркто-норвежской трески формируется, главным образом, в течение первых двух лет жизни, когда количество и качество пищи, хищничество и физические факторы оказывают наиболее существенное влияние на смертность рыбы. Причем в пределах этих лет самая высокая вероятность её гибели под воздействием внешних причин наблюдается во время двух этапов развития ранних стадий трески: первый - развитие икры и выживание пелагических личинок и мальков, второй - зимовка донной молоди. Поэтому в качестве факторов среды ис-

пользовались показатели теплового состояния водных масс, продолжительность гидрологической весны и индексы атмосферной циркуляции над южной частью Баренцева моря в критические периоды жизни трески, а также сведения о численности кормового зоопланктона, воспроизводительной способности популяции трески и её численности на более ранних стадиях развития.

Проверка эффективности полученных моделей динамики численности молоди трески осуществлялась на контрольных (независимых) массивах, в которые вошли данные за 1983-1986 гг..

Анализ коэффициентов силы связи между показателями численности поколений трески в двухлетнем возрасте и факторами среды позволил выделить шесть параметров, имеющих наиболее информативные каналы передачи сведений о состоянии прогнозируемого явления. Самое сильное влияние на условия формирования пополнения вида оказывает фактор, который характеризует численность молоди трески в возрасте 0+, т.е. мощность поколения на стадии сеголетка. Вторым по значимости параметром является температура воды придонного слоя в период первой зимовки, а четвертым - также показатель теплового состояния водных масс южной части Баренцева моря, но верхнего 50-метрового слоя во второй половине года рождения поколения. Третье место по количеству передаваемой полезной информации к прогнозируемому показателю занимает фактор, учитывающий интенсивность переноса воздушных масс западного направления в период дрейфа икры и личинок трески из репродуктивной зоны в южную часть Баренцева моря. В схему метода прогноза численности трески в возрасте неполных двух лет кроме того включены фактор, отражающий состояние кормовой базы рыбы (численность эвфаузиид в южной части Баренцева моря), и параметр, идентифицирующий сроки начала гидрологической весны в

год рождения трески.

В прогностическую модель динамики численности трески в возрасте трех лет также вошли шесть наиболее информативных факторов, которые можно разделить на две группы: в первую входят три показателя, характеризующие численность трески на более ранних стадиях её развития (показатель популяционной плодовитости, индексы численности в возрасте 0+ и 1+), а во вторую - параметры, оценивающие тепловые условия окружающей среды (температура воды на разрезе "Кольский меридиан" слоя 0-200 м во второй половине года появления поколения, слоя 150-200 м в апреле-мае в период первой и второй зимовок молоди трески и показатель ледовитости Баренцева моря в год рождения поколения). При этом роль первой группы факторов выше, чем второй.

Проверка надежности и эффективности модели динамики численности молоди трески в возрасте двух лет на контрольном массиве показала, что в 75% случаев прогноз совпал с фактом, а в остальных 25% ошибка не превышала один класс. Оправданность независимых прогнозов численности трески в трехлетнем возрасте составила 100%.

Таким образом, с помощью информационно-логического анализа составлены расчетные схемы, позволяющие прогнозировать численность молоди аркто-норвежской трески в возрасте неполных двух и трех лет в южной части Баренцева моря. Эти данные в Полярном институте используются для заблаговременной оценки мощности вступающих в промысел поколений рыб. Примененный для нахождения параметров моделей метод является перспективным для выявления характера влияния среды на особенности поведения и динамику численности гидробионтов.

В В О Д Ы

1. Основными гидрометеорологическими факторами, определяющими численность молоди баренцевоморских эвфаузиид и их главного потребителя - аркто-норвежской трески, являются: интенсивность западного переноса воздушных масс, температура воды и скорость её изменения в период ранних стадий развития гидробионтов, сроки начала и продолжительность гидрологической весны.

2. В характере горизонтальных воздушных переносов над Баренцевым морем установлено преобладание зонального воздухообмена над меридиональным. Зимой результирующий поток воздуха имеет северо-западное направление, а летом доминирует восточный перенос. Спектральная структура многолетних колебаний индексов циркуляции атмосферы характеризуется тремя группами циклических вариаций: трендовые изменения, колебания длительностью 12-29 лет и составляющие в диапазоне 3-8 лет.

3. Пространственные различия сроков наступления и продолжительности гидрологических сезонов в Баренцевом море зависят от локальных особенностей интенсивности процессов теплообмена водной толщи. В целом для всей акватории моря зима длится 6-7, весна - 1-2, лето - 1,5-3,0, осень - 1,0-1,5 месяца. При раннем развитии весны в южной части Баренцева моря (самого важного сезона для многих гидробионтов) её продолжительность, как правило, увеличивается. При позднем наступлении этого сезона происходит быстрое развитие стратификации верхнего 100-метрового слоя.

4. С глубиной происходит запаздывание времени наступления гидрологических сезонов. На горизонте 200 м оно составляет 1-2 месяца для зимы и 3-4 месяца для лета.

5. В состав колебаний численности баренцевоморских эвфаузиид *Th. inermis* и *Th. raschi* входят трендовые изменения, компоненты продолжительностью 13-14 и 6-8 лет, а также 2-4 - летние вариации. Адекватная частотная структура обнаружена в межгодовых изменениях средней температуры верхнего 50-метрового слоя воды в период ранних стадий развития макропланктона, сроков наступления и продолжительности гидрологической весны в южной части Баренцева моря, что позволило разработать метод покомпонентного прогноза величины пополнения эвфаузиид с заблаговременностью около шести месяцев.

6. Все факторы, определяющие численность поколений аркто-норвежской трески на стадии молоди, разделяются на три группы: 1) параметры, характеризующие тепловые условия среды, 2) численность трески на более ранних этапах её развития, 3) численность эвфаузиид - основного кормового объекта трески.

7. Разработанные с помощью информационно-логического анализа расчетные схемы прогноза численности молоди трески южной части Баренцева моря в возрасте непслных двух и трех лет позволяют в практической деятельности заблаговременно (до года) оценивать урожайность поколений рыбы.

Основные научные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в следующих работах:

1. Структура гидрологических сезонов в прибрежной зоне Мурманска // Физико-химические условия формирования биологической продуктивности Баренцева моря. - Апатиты, 1980. - С. 18-25.

2. Многолетние циклические изменения величины пополнения баренцевоморских эвфаузиид и факторы, их определяющие // Вопросы промысловой океанографии Северного бассейна. - Мурманск, 1984. - С. 19-29.

3. Температура воды // Жизнь и условия её существования в пелагиали Баренцева моря. - Апатиты, 1985. - С. 30-37.

4. Особенности горизонтальных воздушных переносов и их роль в формировании океанографических условий бесплодности вод Баренцева моря // Полярная метеорология на службе народного хозяйства: тез. докл. I-го Всесоюзного совещания. - Мурманск, 1987. - С. 80-82.

5. Effect of hydrometeorological factors on the regularity of the long-term variations in euphausiid (Crustacea, Euphausiacea) abundance in the southern Barents sea // The effect of Oceanographic Conditions on Distribution and Population Dynamics of Commercial Fish Stocks in the Barents sea. Proceedings of the Third Soviet-Norwegian Symposium. - Institute of Marine Research, Bergen, 1987. - P. 91-100 (в соавт. с С.С.Дробышевой).

6. Метод прогноза численности поколений трески двухлетнего возраста в южной части Баренцева моря // IV Всесоюзная научная конференция по проблемам промыслового прогнозирования (долгосрочные аспекты). 24-26 октября 1989 г.: тез. докл. - Мурманск, 1989. - С. 39-41.

7. Сезонные и межгодовые изменения интенсивности воздушных потоков над Баренцевым морем // Вопросы промысловой океанографии Северного бассейна. - Мурманск, 1989. - С. 65-76.

Смирнов