

Диагноз крупномасштабных океанологических процессов в районах апвеллингов и прогнозирование ресурсов пелагических рыб

Канд. геогр. наук П.П. Чернышков – АтлантНИРО

Распределение мирового вылова рыбы и морепродуктов по акватории Мирового океана является весьма неравномерным. Более половины ежегодного вылова приходится на районы, расположенные в северо- и юго-западных прибрежных частях Атлантического и Тихого океанов, занимающих всего около 0,1 % общей площади океанов (*Sharp and Csirke, 1983; Pauly et al., 1989; Cury et al., 1995*).

В этих районах наблюдается возникающее под воздействием пассатных ветров, рельефа дна и силы Кориолиса (следствие вращения Земли) явление «апвеллинга» – мощных вертикальных движений, выносящих из придонных и промежуточных слоев океана в верхний, фотический, слой воды с высоким содержанием биогенных элементов (нитраты, фосфаты, силикаты). В результате этого в районах апвеллинга формируются зоны повышенного первичного продуцирования вод и интенсивного развития планктонных сообществ, что создает исключительно благоприятные условия существования популяций массовых пелагических рыб (анчоус, сардины, ставриды, сардинопс, сардинеллы, скумбрия).

Наиболее значительные по площади и биомассе пелагических рыб апвеллинговые районы Мирового океана это: Калифорнийский (акватория вдоль побережья п-ова Калифорния, США) и Перуанский (побережье Перу) – в Тихом океане; Канарский (побережья Марокко, Мавритании и Сенегала) и Бенгельский (побережья ЮАР, Намибии и Анголы) – в Атлантическом океане.

По причине короткого жизненного цикла численность и биомасса массовых пелагических рыб определяются уровнем пополнения, который зависит от эффективности нереста и выживаемости на ранних стадиях развития. На основе математического моделирования пелагических экосистем апвеллинговых районов показано (*Shelton, 1987*), что популяции рыб, обитающие в относительно небольших по площади районах, способны быстро реагировать на изменения крупномасштабных океанологических и гидрометеорологических процессов, происходящих на значительно больших по площади акваториях.

К неблагоприятным океанологическим условиям, приводящим к резким сокращениям численности массовых пелагических рыб в районах апвеллинга, относятся:

снижение интенсивности процессов апвеллинга и, как следствие, снижение биологической продуктивности вод в местах обитания и нереста рыб;

массовая гибель личинок рыб вследствие высокой турбулентности в верхних слоях океана, вызываемой аномально высокой скоростью ветра;

вынос продуктов нереста океаническими течениями за пределы апвеллинговых районов и гибель их из-за недостаточной обеспеченности пищей.

Все эти условия вызываются резкими непериодическими изменениями крупномасштабных океанологических и гидрометеорологических процессов.

Расширение промысла в океанических районах в настоящее время крайне необходимо для российской рыбной отрасли. В собственной экономической зоне годовой вылов может составить в лучшем случае 2,0–2,5 млн т рыбы в год, а для обеспечения населения продуктами питания океанического происхождения требуется не менее 6 млн т ежегодно.

Наиболее перспективным для расширения российского промысла в океанических районах представляется использование биоресурсов апвеллинговых районов Атлантического океана – Канарского (ЦВА) и Бенгельского (ЮВА). Начиная с конца 50-х годов это были районы традиционного крупномасштабного отечественного промысла. В условиях свободного рыболовства в районах шельфов бывшей Западной Сахары (21–24° с.ш., ныне – экономическая зона Марокко) и Намибии (17–23° ю.ш.) наши рыбаки добывали до 2,5 млн т мелких пелагических рыб, 70 % которых направлялось на пищевые цели. Даже в условиях введения экономических зон и сокращения числа добывающих судов России в этих районах добыча в последние годы составляет около 300 тыс. т ежегодно. Поскольку рыбная промышленность прибрежных стран не в состоянии освоить все биологические ресурсы собственных экономических зон, существуют значительные недоиспользуемые ресурсы. Прежде всего это массовые пелагические рыбы.

Однако в условиях существенных межгодовых изменений биомассы пелагических рыб расширение промысла возможно только при обоснованном и надежном долгосрочном прогнозе ее величины. Отсюда следует необходимость научно обоснованного суждения о будущем состоянии промысловых биоресурсов массовых пелагических рыб с заблаговременностью 1–2 и более лет, что и является главной практической задачей, на решение которой направлено настоящее исследование.

Целью работы было изучение гидрометеорологических и промыслово-океанологических процессов в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов, определение масштабов и описание механизмов влияния гидроклимата океана на межгодовые изменения эксплуатируемых популяций.

В качестве информационной основы использовались ретроспективные гидрометеорологические и океанологические данные, результаты исследований отечественных и зарубежных ученых, комплексные промыслово-океанологические материалы, собранные в морских научно-исследовательских экспедициях АтлантНИРО.

В работе были использованы ряды среднемесячных значений за 1971 – 2003 гг.:

характеристик центров действия в атмосфере над Атлантическим океаном;

планетарных индексов гидроклимата (Северо-Атлантическое колебание – NAO);

индекса атмосферных переносов в стратосфере над экватором; параметров апвеллинга и индексов ветрового режима в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов.

Кроме того, использованы среднемесячные поля атмосферного давления и температуры поверхности океана (ТПО) в узлах регулярной сетки над западными частями Атлантического океана (в Северном полушарии – с 1954 по 2003 г., в Южном – с 1970 по 2003 г.) и поля ровенной поверхности океана и ее аномалий (по данным спутниковых альтиметрических измерений в ЦВА и ЮВА за 1992 – 2004 гг.).

Использованы также материалы 13 комплексных сезонных съемок, выполненных в теплый и холодный сезоны года АтлантНИРО в ЦВА, за 1994 – 2003 гг., включающие в себя стандартные океанологические наблюдения и результаты гидроакустических оценок биомассы и особенностей распределения пелагических рыб, и архивные материалы

океанографических наблюдений в ЦВА и ЮВА с 1900 по 1994 г. из *WOCD* – Мирового Центра океанографических данных (*Levitus, 1998*).

Были также использованы результаты работы отечественного и иностранного промысловых флотов в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов (данные ФАО).

В качестве методологической основы использовались адаптированные к задачам промысловой океанологии методы статистического диагноза и прогноза океанологических процессов (*Смирнов и др., 1992; Чернышков, Сирота, Тимохин, 2005*).

Для определения границ водных масс и их пространственно-временной изменчивости использовался метод объемного *T,S*-анализа (*Мамаев, 1987*).

Для оценки воздействия крупномасштабных океанологических процессов на популяции массовых пелагических рыб применялся метод имитационного моделирования (*Чернышков, 1998*).

В процессе работы были поставлены и решены следующие задачи:

выполнена пространственно-временная кластеризация исследуемых процессов, рассмотрена сопряженность явлений с различными пространственно-временными масштабами, а также процессов, происходящих в ЦВА и ЮВА;

сделана оценка вклада крупномасштабных океанологических процессов в формирование интегральной промысловой продуктивности в районах апвеллинга; определены масштабы и описаны механизмы влияния этих процессов на эксплуатируемые популяции пелагических рыб;

с использованием методов статистического анализа выявлены главные факторы межгодовых изменений биологической и промысловой продуктивности вод; исследованы структура и взаимосвязи гидроклиматических и промыслово-океанологических процессов в районах апвеллингов;

разработаны малопараметрические статистические и имитационные модели влияния океанологических условий на популяции пелагических рыб; определены области применения моделей, возможности их использования в долгосрочном промысловом прогнозировании.

В результате установлено, что пространственная структура и сезонная изменчивость северо-восточного пассата над Центрально-Восточной Атлантикой имеют следующие особенности. Крайнее южное положение (15–18° с.ш.) зона максимального пассата занимает в ноябре – апреле, а крайнее северное (22–24° с.ш.) – в июне – сентябре. По характеру сезонных колебаний интенсивности пассата исследуемый район можно разделить на три зоны: 12–20° с.ш. – зона значительных сезонных колебаний интенсивности пассата; 20–25° с.ш. – зона сильных пассатных ветров, преобладающих в течение всего года; 25–33° с.ш. – зона умеренных пассатных ветров, интенсивность которых подвержена сезонным колебаниям.

Наибольшая амплитуда внутрigoдовых колебаний ТПО наблюдается между м. Кап-Блан и м. Зеленый, что обусловлено сезонным апвеллингом в зимний период и адвекцией теплых тропических вод с юга – в летний.

В прибрежном районе ЦВА выделяются три зоны, различающиеся по характеру внутрigoдовой изменчивости апвеллинга: зона сезонного апвеллинга (между 10 и 20° с.ш.); зона интенсивного круглогодичного апвеллинга (между 20 и 26° с.ш.); зона умеренного круглогодичного апвеллинга с выраженной сезонностью (между 26 и 32° с.ш.).

Выделено пять подрайонов, различающихся характером межгодовых колебаний термических условий на поверхности океана. Наибольшей изменчивости ТПО подвержен прибрежный участок между м. Зеленый и м. Кап-Блан. Для каждого подрайона определены периоды аномальных в термическом отношении лет, некоторые из которых довольно продолжительные (5–8 лет).

Выявлены подрайоны, отличающиеся по характеру сезонной изменчивости горизонтальной циркуляции, которые приурочены к различным системам течений. Установлено, что в Гвинейском течении и в районе взаимодействия Северного пассатного течения с Межпассатным противотечением в изменчивости циркуляции преобладает полугодовая составляющая.

В структуре вод исследуемого района выделены следующие водные массы: тропическая (ТП – воды Гвинейского залива), южная и северная поверхностные (ЮП и СП), южная и северная атлантиче-

ские центральные водные массы (ЮАЦВ и САЦВ). Показано, что интенсивное горизонтальное взаимодействие происходит между ТП и ЮП; ЮП и СП; ЮАЦВ и САЦВ. Смещение двух последних водных масс происходит вдоль изопикнических поверхностей. В районе 21–24° с.ш. как на поверхности, так и в промежуточных слоях располагается локальный термохалинный фронт, разделяющий водные массы ЮАЦВ и САЦВ. На поверхности он заметен только в поле солёности. Плоскость фронта наклонена к югу. В течение года фронтальная зона совершает небольшие перемещения в меридиональном направлении, занимая южное положение в весенне-летний; северное – в осенне-зимний периоды года.

Температура воды в САЦВ и ЮАЦВ возрастала в течение 1971 – 1995 гг. На фоне этой тенденции отмечались годы аномально низких (1971 – 1975) и аномально высоких (1976 – 1982) температур. В верхнем слое ЮАЦВ межгодовая изменчивость выражена более значительно, чем в САЦВ. Однако в нижележащих слоях в САЦВ сохраняется широкая амплитуда колебаний температуры, тогда как в ЮАЦВ она значительно уже.

Установлена связь между колебаниями интенсивности зонального переноса в атмосфере над Северной Атлантикой и изменениями уровня океана в районе распространения Канарского течения. В южном прибрежном подрайоне ЦВА существует связь между межгодовыми колебаниями уровня океана и положением границы взаимодействия САЦВ и ЮАЦВ.

Производительность промысла пелагических рыб в экономической зоне Мавритании в значительной мере зависит от термических условий поверхностного слоя океана. Стабильно высокий вылов ставриды отмечается в годы, когда значения ТПО соответствуют нормальным. Значительные положительные аномалии ТПО отрицательно сказываются на доступности промысловых скоплений ставриды. Увеличение вылова сардинеллы наблюдается в годы, когда происходят повышение ТПО, усиление потока северной ветви Межпассатного противотечения и ослабление Канарского течения. Для промысла сардины благоприятными, наоборот, являются годы с пониженными значениями ТПО и активным апвеллингом.

Получены малопараметрические статистические и имитационные модели, аппроксимирующие зависимости уровня пополнения четырех видов пелагических промысловых рыб ЦВА в связи с термическими условиями во время пика нереста. Установленные зависимости могут быть использованы для прогнозирования численности и биомассы пелагических рыб ЦВА с заблаговременностью 1–2 года.

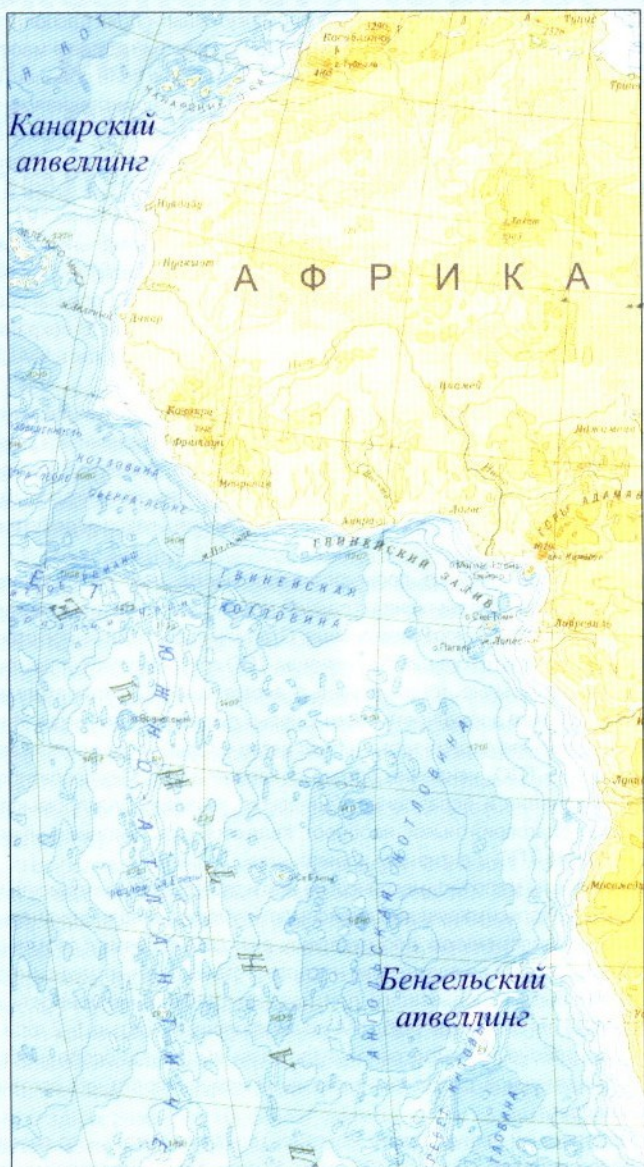
Для района Юго-Восточной Атлантики выявлены особенности пространственной структуры и сезонной изменчивости юго-восточного пассата.

В холодный период (июнь – октябрь) зона максимального пассата располагается между 20–25° ю.ш. К лету она смещается на юг, юго-восток, вдоль береговой линии, и располагается между 25 и 30° ю.ш. По характеру сезонных колебаний интенсивности юго-восточного пассата исследуемый район делится на три зоны: 6–16° ю.ш. – зона значительных сезонных колебаний интенсивности пассата; 16–27° ю.ш. – зона сильных пассатных ветров, преобладающих в течение всего года; южнее 27° ю.ш. – зона пассатных ветров, интенсивность которых подвержена сезонным колебаниям.

Наибольшая амплитуда внутрigoдовых колебаний ТПО и уровня океана наблюдается в районе между 12 и 20° ю.ш., что обусловлено проникновением Бенгельского течения в зимний период далеко на север, до 12° ю.ш., апвеллингом к югу от 17° ю.ш., имеющим наи-



**Географическое положение
Канарского (Центрально-Восточная Атлантика) и
Бенгельского (Юго-Восточная Атлантика) апвеллингов**



большую интенсивность в зимний период, и адвекцией теплых тропических вод в район 20° ю.ш. – в летний период. На северо-востоке ЮВА, между 6 и 12° ю.ш., выделяется локальный прибрежный участок, где временная изменчивость ТПО и аномалий уровня океана содержит полугодовую составляющую.

В прибрежном районе ЮВА выделяются зоны, различающиеся по характеру внутригодовой изменчивости термического индекса апвеллинга: зона круглогодичного апвеллинга (между 17 и 33° ю.ш.) с максимальным развитием между 20 и 30° ю.ш.; зона слабого апвеллинга (к северу от 10° и к югу от 33° ю.ш.). Между 10 и 15° ю.ш. апвеллинг практически отсутствует. Распределение этих зон в системе Бенгельского апвеллинга в общих чертах согласуется с внутригодовой изменчивостью положения и интенсивности зоны пассатных ветров, но не имеет такого ярко выраженного сезонного хода, как в системе Канарского апвеллинга.

Выделено пять подрайонов, различающихся по характеру межгодовых колебаний термических условий на поверхности океана. В северных подрайонах формирование аномалий ТПО происходит под воздействием экваториальной зоны накопления теплового запаса океана. В южных подрайонах аномалии ТПО формируются в результате процессов, происходящих в восточной части субтропического круговорота Южного полушария. Для каждого подрайона определены периоды аномальных в термическом отношении лет.

Выполнена временная классификация рядов ТПО для всего района ЮВА. Период с 1981 по 2002 г. разбивается на три класса, характеризующих «теплые», «холодные» и «нормальные» термические условия на поверхности океана.

На основе спутниковых альтиметрических данных выделено три подрайона, отличающихся по характеру сезонной изменчивости горизонтальной циркуляции и отождествляемых с различными системами течений.

В структуре вод исследуемого района выделены следующие водные массы: южноатлантическая водная масса тропического происхождения (ЮАТ); поверхностная водная масса Ангольского течения, или трансформированная ЮАТ; южноатлантическая центральная водная масса (ЮАЦВ); поверхностная водная масса Бенгельского течения (трансформированная ЮАЦВ); антарктическая промежуточная водная масса (АПрВ).

По результатам кластер-анализа распределения температуры и солёности на поверхности получены пять подтипов поверхностных, географически привязанных к разным модификациям водных масс.

Глубина залегания изопикнической поверхности ($\sigma_t = 26,0$), принятой за верхнюю границу ЮАЦВ, характеризует сезонную изменчивость восточной части субтропического круговорота, а также межширотную структуру Ангольского и Бенгельского течений и прибрежного апвеллинга.

Между 16 и 21° ю.ш. в поверхностных слоях располагается фронтальная зона, разделяющая водные массы Ангольского и Бенгельского течений (АБФЗ). Она хорошо выражена в структуре поля плотности по наклону и заглуплению изопикнических поверхностей с юга на север.

Основными факторами, определяющими межгодовые изменения продуктивности вод, распределение и численность капской ставриды северной части района Бенгельского апвеллинга, являются проникновение вод Ангольского течения в летний период на юг, к 22° ю.ш.; ослабленный апвеллинг и потепление вод в районе 22° ю.ш. в зимний период; усиленный юго-восточный перенос и апвеллинг в районе 25–30° ю.ш. в осенне-зимний период.

Получены малопараметрические статистические модели, аппроксимирующие зависимости уровня пополнения капской ставриды от параметров среды обитания во время нереста. Установленные зависимости могут быть использованы для прогнозирования численности и биомассы капской ставриды ЮВА с заблаговременностью 1–2 года.

Также получены малопараметрические статистические и имитационные модели межгодовых изменений состояния биоресурсов с характерным временным масштабом в 3–5 и 7–9 лет. Сделаны оценки точности моделей, определены возможности их использования для долгосрочного прогнозирования величин биомассы массовых пелагических рыб.

Определяющий вклад в формирование биологической и промысловой продуктивности вносят крупномасштабная циркуляция атмосферы, динамика промежуточных вод, термический и ветровой режимы, наблюдавшиеся в период нереста пелагических рыб. При этом установлено, что процессы биологической и промысловой продуктивности районов Канарского и Бенгельского апвеллингов удовлетворительно описываются математическими моделями, в которых управляющими параметрами служат особенности крупномасштабных океанологических процессов. Эти особенности заключаются в:

преобладании в промежуточных слоях океана, откуда апвеллингом поднимаются в фотический слой холодные и богатые биогенными элементами воды, вод южноатлантического происхождения, в которых содержание биогенных элементов в 3–4 раза выше, чем в промежуточных водах североатлантического происхождения;

интенсивности гидродинамического взаимодействия разнонаправленных крупномасштабных океанических течений (Канарское и северная ветвь Межпассатного противотечения), которое приводит к образованию мезомасштабных квазистационарных круговоротов вод в местах нереста и обитания на ранних стадиях развития пелагических рыб. Отсутствие или недостаточная интенсивность этих круговоротов вод приводят к катастрофическому снижению уровня пополнения запасов рыб;

пассат, имеющий над акваторией нереста и обитания в период личиночной стадии развития скорость более 6 м/с, приводит к силь-

ной турбулизации поверхностного слоя, в котором концентрируются личинки пелагических рыб, и к их гибели в результате механических повреждений. В этом случае формируется низкий уровень пополнения промысловых популяций.

Разложение полей атмосферного давления, ТПО и уровенной поверхности океана, полученных по спутниковым измерениям, по главным компонентам обладают хорошей сходимостью. Коэффициенты разложения могут быть использованы в качестве предикторов в прогностических моделях множественной регрессии для прогноза параметров популяций пелагических рыб в районах апвеллинга.

Совместный кластер-анализ параметров крупномасштабных океанологических процессов и эксплуатируемых популяций пелагических рыб объективно выделяет характерные классы промыслово-океанологических ситуаций в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов, что подтверждается ретроспективными данными по особенностям промысла в этих районах.

Выявлены взаимосвязи между полями уровенной поверхности океана, измеренными со спутников, и полями геострофической циркуляции, рассчитанными по результатам океанографических съемок. Это дает возможность использовать спутниковые наблюдения в качестве индикатора циркуляции вод в промысловом районе, что важно при определении уровня пополнения пелагических рыб.

Статистические структуры параметров гидроклимата океана в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов имеют одинаковые значащие периоды, определенные методом спектрального анализа, что подтверждает сопряженность процессов, происходящих в этих районах, и может служить основой при разработке методов промысловых прогнозов для обоих районов.

Автоматизированная информационно-прогностическая система, разработанная на основе перечисленных выше положений и с учетом возможностей современных информационных технологий, реализует принципиально новый подход к проблеме долгосрочного (с заблаговременностью 1–2 и более лет) промыслового прогнозирования. Этот подход заключается в возможности использования прогнозистами и пользователями прогнозов всех имеющихся баз данных и математических моделей прогнозируемых процессов.

Предложенная схема комплексного мониторинга районов апвеллинга существенно сокращает затраты на получение необходимой для успешного прогнозирования состояния сырьевой базы рыболовства оперативной информации. Это достигается за счет использования спутниковой информации.

Применение для анализа исходных данных методов многомерного статистического диагноза и прогноза позволило получить статистические и имитационные модели, построенные на основе выявленных в процессе работы масштабов и механизмов влияния гидроклимата океана на популяции пелагических рыб. Эти модели адекватно описывают изучаемые процессы и уже применяются при разработке долгосрочных промысловых прогнозов.

Использование в работе материалов спутниковой альтиметрии дало весьма важный для исследований динамики океана результат. Установлены взаимосвязи полей уровенной поверхности океана, полученных на основе спутниковых альтиметрических наблюдений, с полями ТПО, построенными по результатам прямых измерений, и полями геострофической циркуляции, вычисленными по данным океанографических съемок. Таким образом, спутниковые альтиметрические данные по уровню океана адекватно характеризуют горизонтальную циркуляцию вод, что подтверждено результатами расчетов геострофических течений, полученных на основе прямых измерений температуры и солёности как в ЦВА, так и в ЮВА. Это открывает возможность мониторинга энергоактивных зон, скоростей и направлений основных систем течений.

Схема промыслово-океанологического мониторинга апвеллинговых районов с использованием спутниковой информации, несомненно, снизит затраты на проведение дорогостоящих экспедиционных исследований с целью контроля состояния сырьевой базы рыболовства в этих районах.

На основе полученных результатов разработана методология долгосрочного (с заблаговременностью 1–2 и более лет) промыслового прогнозирования в этих районах, которая используется при разработке долгосрочных рыбопромысловых прогнозов и научном обеспечении отечественного промысла в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов.

ПОЗДРАВЛЯЕМ!



Исполнилось 70 лет со дня создания ЗАО «Сельскохозяйственный племенной завод «Форелевый» Ставропольского края (директор – Цень Лидия Николаевна).

В своем поздравлении министр сельского хозяйства Российской Федерации А.В. Гордеев отметил, что «за 70 лет племенным заводом «Форелевый» пройден путь от небольшого хозяйства до крупного производителя рыбной продукции. Коллективом предприятия выращены и реализованы тысячи тонн товарной рыбы и десятки миллионов экземпляров племенной молоди форели».

В последние годы на заводе сформировано лучшее стадо различных пород форели. Впервые в мировой практике на племзаводе создано ремонтно-маточное стадо белорыбицы.

Сохраняя лучшие традиции, коллектив завода «Форелевый» осваивает новые технологии выращивания рыбы, совместно с научными организациями постоянно совершенствует методы селекционно-племенной работы в рыбоводстве.

Достижения коллектива племзавода отмечены медалями и дипломами на многочисленных сельскохозяйственных выставках.



ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИЙ

В декабре 2004 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени **кандидата биологических наук** заведующий лабораторией лососевых экосистем ФГУП «МагаданНИРО» **Сергей Леонидович Марченко**. Тема диссертации: «Особенности биологии и популяционная структура горбуши *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) северного побережья Охотского моря».

20 мая 2005 г. на заседании диссертационного совета ВНИРО успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени **кандидата биологических наук** старший научный сотрудник ПИНО **Сергей Петрович Мельников**. Тема диссертации: «Биологические основы регулирования промысла окуня-клевача в пелагиали Северной Атлантики».

2 июня 2005 г. на заседании диссертационного совета при Московском государственном университете прикладной биотехнологии успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени **доктора технических наук** начальник отдела НПП «Тантал» **Валерий Васильевич Воробьев**. Тема диссертации: «Научно-практические основы создания эффективных технологий производства высококачественных продуктов из гидробионтов с использованием электромагнитного поля СВЧ».