

Бесплатно

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БРЯНЦЕВ
Валентин Алексеевич

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ
РЫБОПРОМЫСЛОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ
МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

(специальность 11.00.08 — океанология)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

Ленинград
1990

В. Брянец

Работа выполнена в Южном научно-исследовательском институте морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО).

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор биологических наук, член-корреспондент АН СССР М. Е. Виноградов (Москва); доктор физико-математических наук, академик АН УССР В. И. Беляев (Севастополь), доктор географических наук А. Е. Антонов (Ленинград).

Ведущее предприятие: Ленинградский государственный университет.

Защита диссертации
в 14 час. 30 мин.
Д.063.19.01 по специальности
пени доктора наук в
ском институте (д. 98).

С диссертацией
Автореферат разослан

Ученый секретарь специализированного совета

1990 г.
Совета
специализированного
спекта,
ГМИ.
90 г.
РЛИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Человечество все острее испытывает дефицит животного белка. Проблема пищевых ресурсов стала одной из основных практически в мировом масштабе. При этом очевидно, что до решения задачи синтезируемой пищи и создания технологии искусственных белковых продуктов необходимо осуществить полное использование естественных ресурсов планеты. В настоящее время в значительной степени недоиспользованной является биомасса Мирового океана.

Дальнейшее развитие рыбного хозяйства СССР, единственной, кроме сельского хозяйства, отрасли, которая создает продовольственный базис страны, может осуществляться в первую очередь при успешно развивающейся научной базе.

Рыбохозяйственная наука должна обеспечить:

1. Рациональный промысел рыбы и морепродуктов в освоенных районах Мирового океана.
2. Выявление новых районов и объектов промысла. Последнее, осуществляется: а) путем вовлечения в сферу добычи массовых, ранее мало используемых, пелагических рыб посредством разработки орудий и способа лова значительных по биомассе, но не создающих плотных концентраций рыб; б) при развитии промысла антарктического криля и в) при организации промысла кальмаров.
3. Интенсивное развитие марикультуры, в том числе в шельфовой зоне окраинных морей СССР.
4. Контроль за состоянием экосистем окраинных и внутренних морей СССР при существующих антропогенных воздействиях.
5. Разработку методов и, в дальнейшем, развитие марикультуры в открытых водах Мирового океана. Мы предполагаем, что последнее обусловит новый качественный скачок в деле



производства продуктов питания, подобный тому, который произошел при переходе человека от охоты и собирательства к ведению культурного земледелия и животноводства.

Успешное решение перечисленных задач невозможно без определения океанологических (в первую очередь физических) предпосылок биологической продуктивности в осваиваемых и эксплуатируемых районах Мирового океана, а также в искусственно создаваемых аквахозяйствах. В настоящее время они достаточно полно рассмотрены в плане значимости первичных элементов абиотической части экосистем, таких, как солнечный свет, тепло, соленость, плотность, перемешивание вод, оптические и акустические свойства гидросферы. Однако продуктивность высших трофических уровней, часть которой мы условно обозначаем как рыбопромысловую, имеет основы комплексные и более сложные по сравнению с перечисленными. К таковым мы относим трехмерное поле течений, термохалинную структуру, условия турбулентности и некоторые другие.

Эти предпосылки также рассматриваются в промысловой океанологии, однако их изученность пока недостаточна. Определение таких комплексных основ и экологической значимости их отдельных сторон в качестве причин повышенной рыбопромысловой продуктивности является в настоящее время важнейшей задачей.

Цели и задачи исследований. Целями наших исследований являлись: определение океанологических (физических, частично гидрохимических) предпосылок общей (суммарной) продуктивности морских экосистем, выявление и описание главных комплексных факторов в механизме продуцирования, отыскание общего, или наиболее общего, физического критерия повышенной рыбопромысловой продуктивности, выбор и иллюстрация ряда абиотических параметров среды для оценки определенных районов Мирового океана в практическом рыбохозяйственном смысле.

Для достижения поставленных целей были предприняты решения следующих задач:

1. Исследование экологической роли завихренности поля течений. Определение роли и значимости циркулярных систем обоих знаков. Разработка методики количественного учета конкретной, преобладающей и суммарной завихренности как фактора, обуславливающего урожайность и особенности в поведении объектов рыболовного промысла.

2. Исследования экологической значимости элементов термохалинной и плотностной структуры, как определяющих и косвенных (сигнальных) факторов повышенной биологической продуктивности разномасштабных акваторий Мирового океана.

3. Исследование условий развития турбулентного перемешивания как фактора, определяющего существование постоянных и изменяющихся зон гипоксии и сероводородного заражения на примере Черного моря. Выявление признаков изменения его экосистемы.

4. Поиск количественного показателя, суммарно отражающего уровень благоприятности абиотической части морской экосистемы. Пробные сравнения разнообразных районов океана по такому признаку.

Проведено обобщение и иллюстрация ряда результатов наших исследований в качестве полезного вклада в современную промысловую океанологию и произведена оценка результатов исследований по уровню и возможностям практического использования.

Методы. При выявлении физических предпосылок повышенной биологической и рыбопромысловой продуктивности применялась методика прямого качественного или количественного, чаще всего статистического, сопоставления показателей обеих сторон.

В качестве общего подхода используется концепция второго закона термодинамики в его вероятностной интерпретации Больцмана, послужившей фундаментом современной статистической физики, а также теория Шенона, который предложил использовать формулу энтропии Больцмана $S = - \sum P_i \log P_i$ для измерения информации.

В одном случае нами получена связь статистического распределения количества особей одного из промысловых видов рыб в координатах океанографической характеристики. Для этого метода мы предполагаем хорошую перспективу в деле оценки и прогноза рыбных запасов.

При анализе термохалинной структуры чаще всего использовались различные модификации T , S -анализа, в том числе и объемно-статистический. В данный метод нами внесены важные дополнения.

К статистическим методам относится и регрессионный анализ, весьма распространенный в промысловой океанологии и часто применяемый нами. Здесь также использованы методы дискретной математики, в частности ранговой корреляции в изложении Кендэла.

Для анализа полей атмосферной циркуляции при оценке влияния последней на изменения поля течений, термохалинной и плотностной структуры в синоптическом масштабе времени применялось разложение поля в ряд по полиномам Чебышева.

Широко использовался нами также простейший метод качественных сопоставлений, как кривых, так и полей распре-

деления и изменения физических и биологических характеристик. Для выделения потенциально продуктивных зон, в частности, использован метод наложения полей различных океанографических параметров.

В исследованиях промысловой океанологии, естественно, невозможно обойтись без расчетных методов классической океанографии, относящихся к классу детерминистических. Расчеты течений с помощью аналогового моделирования, с помощью динамического метода или методов расчета дрейфовых течений выполнялись нами в различных случаях и для различных акваторий. Однако описание этих способов приводится в работе только как необходимый элемент общей методики анализа.

Фактический материал. В работе использованы в первую очередь данные океанографических исследований ЮгНИРО в Черном море и Индийском океане. В общей сложности они составляют более 7 тыс. станций. Систематизация материала и его обработка на ЭВМ по ряду программ осуществлена при использовании банка информации на машинных носителях, созданный отделом банка АСУ и лабораторией промысловой океанографии ЮгНИРО. Банк дополнялся заказываемыми материалами МЦД-Б, которые также использованы в работе.

Для решения отдельных задач взят материал специальных океанографических съемок в Черном море, Индийском и Атлантическом океанах, в Мексиканском заливе. По последнему району обобщались данные, собранные во время совместных советско-кубинских исследований за период с 1966 по 1970 год и принадлежащие Центру Рыбохозяйственных Исследований (ЦРИ) в Республике Куба (Гавана). Материалы специальных съемок в различных районах Атлантического океана взяты из океанографического архива АтлантНИРО.

При анализе синоптической изменчивости течений и гидроструктуры нами использовались в основном ежедневные карты приземного давления, взятые непосредственно или после опубликования в бюллетенях Гидрометцентра СССР. В случаях подобных исследований акваторий индоокеанского сектора Антарктики брались аналогичные карты, принимаемые на экспедиционных судах с помощью факсимильной аппаратуры с советской антарктической станции «Молодежная». Этот же материал при исследованиях в районе Юкатанского шельфа представлен нам Гаванским институтом метеорологии.

Существенную долю в использованных для исследований материалах занимают данные океанографических наблюдений, в первую очередь за течениями, на автономных буйковых станциях. Последние выполнялись непосредственно автором или

организовывались с его участием при постановке соответствующих задач в специальных рейсах.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Структура изложения результатов наших исследований, в общем, содержит три основных логических этапа. Вначале, как результат обобщения предшествующих исследований и сформировавшихся представлений, мы рисуем общую схему, которая качественно иллюстрирует сложную систему потоков и трансформации энергии в морских экосистемах. Она ограничена в конце двумя блоками живой части экосистемы: фитопланктоном и, обобщенно, блоком всех остальных трофических уровней. Основная задача схемы — отразить возможные условия сохранения энергии внутри системы или локального снижения энтропии при усложнении ее структуры, при увеличении в ней количества и разнообразия информации.

Затем рассматриваются ключевые узлы этой системы, определяющие, по нашему мнению, успешность развития биотической части экосистемы, как в количественном (биомасса), так и в качественном (количество трофических уровней, количество биомассы на каждом из них, в особенности конечного продукта, используемого человеком) плане.

В заключение предпринимается попытка найти наиболее общий качественный показатель физических предпосылок повышенной рыбопромысловой продуктивности.

К новым и важным результатам исследований мы относим в первую очередь доказательство определяющей экологической роли антициклонической завихренности как элемента поля течений и плотностной структуры, имеющего такое же важное значение, как и циклоническая завихренность, но обладающего более общим характером при определении биологической продуктивности в тропических, умеренных и полярных зонах Мирового океана. Благодаря этому дополняется и общее представление о роли завихренности вообще.

Предполагаем также, что в практике промысловой океанологии будет полезной наша методика расчета завихренности. В нее включены такие новые подходы, как расчет относительного вихря и его пространственной изменчивости, прямой и косвенный учет конкретной и суммарной завихренности через расчеты воздействия атмосферной циркуляции с типизацией барических полей и учетом повторяемости типов. Важны и выявленные связи между характером атмосферной циркуляции, полем течений (определяющим приток биогенных солей в слой фотосинтеза), изменениями в урожайности и в поведении объ-

ектов промысла в ряде конкретных районов, таких как Юкатанский шельф, индоокеанский сектор Антарктики, Черное море.

Принципиально новым и перспективным считаем мы наше представление термохалинной структуры как аргумента распределения объектов промысла не только в пространственном смысле, но и в статистическом. Примером этому служит выявленная связь между особенностями распределения черноморской ставриды в температурном поле поверхностного слоя вод с ее общим количеством.

Представляет интерес методика выявления потенциально продуктивных зон в тропических и умеренных областях Мирового океана с помощью количественной оценки пространственных аномалий океанографических характеристик.

Таким способом, с использованием аномалий температуры, выявлены потенциально продуктивные зоны в Мексиканском заливе. Нами также предложен метод наложения полей аномалий нескольких характеристик: температуры, топографии сезонного термоклина, солености, распределения гидрохимических характеристик, таких как растворенный кислород и фосфатный фосфор, рассчитанных элементов циркуляции вод. С его помощью выявлены потенциально продуктивные зоны юго-западной части Индийского океана и всей его акватории, за исключением антарктической части.

Весьма полезным оказался модифицированный вариант T, S -анализа, позволивший нам с помощью системы треугольников смещения исследовать структуру и происхождение водных масс Мексиканского залива.

Экологическая роль условий развития турбулентного перемешивания, выраженная количественно посредством такого параметра, как число Ричардсона (Ri), определена нами как основной показатель при выявлении механизма черноморских заморозов в его северо-западной части.

Было установлено, что причиной возникновения гипоксии и полного исчезновения кислорода в придонных слоях акватории является сочетание океанографических условий, при которых Ri становится более 10, — критического значения для процесса кислородного обмена в воде, которое мы определили экспериментально. Последнее достигается при повышении стратификации или снижении динамизма в водах конкретного слоя (уменьшение сдвига течений). Под возникшим блокирующим слоем быстро исчерпываются на окисление органики все запасы кислорода и развивается сероводородное заражение. Данный процесс является общим для самых разных акваторий: глубоководной части Черного моря, некоторых фиордов, впадины

Кариакко, Аравийского моря при северо-восточном муссоне, ряда акваторий в Тихом и Атлантическом океанах, некоторых заливов и эстуариев. Повсеместно органика играет роль не основной причины заморозов, а общего фона. Ее бывает достаточно в пределах любой акватории, чтобы исчерпать растворенный кислород под блокирующим слоем, и любое ее количество окисляется без создания дефицита указанного газа при его свободном притоке, когда не существует для этого препятствий.

Оказалось, что в Черном море вследствие увеличившегося изъятия речного стока на нужды народного хозяйства, увеличился приток соленых черноморских вод в пределах шельфовой зоны, усилилась стратификация в летний период, снизился динамизм за счет ослабления в прибрежных районах течений и стали чаще возникать условия для заморозов, которые наблюдались здесь в меньшем масштабе и ранее.

Таковы причины экологических кризисов в Черном море, которые нанесли серьезный урон местному биоценозу, в том числе и в его промысловой части. Они будут продолжаться до полной перестройки гидроструктуры шельфовой зоны. Однако затем существенная трансформация ее была предсказана, а затем обнаружена в глубоководной части моря. Она выразилась в подъеме границы блокирующего поверхностного слоя, в увеличении солености на горизонтах от 50 до 200 м, в изменении термической и гидрохимической структуры моря, в заметных изменениях биологической части его экосистемы.

Задача третьего этапа исследований, то есть поиск единого физического критерия биологической или рыбопромысловой продуктивности в море, оказалась весьма сложной. Зафиксировать количество энергии, проходящее, трансформирующееся, временно сохраняющееся и рассеивающееся на выходе системы, в настоящее время не под силу самым совершенным детерминированным моделям. В то же время, существующий подход косвенной оценки эффективности морской экосистемы по уровню разнообразия абиотических условий (Т. А. Айзатуллин, В. Л. Лебедев, К. М. Хайлов) наводит на мысль о возможности строгого количественного отражения этого разнообразия в каком-нибудь из ее физических полей.

Океанологам такое поле известно — это поле плотности, отражающее динамические и структурные особенности водной толщи. Вертикальные и горизонтальные градиенты этого поля уже используются в качестве показателя продуктивных регионов Атлантического океана А. А. Елизаровым.

Разнообразие условий, меру сложности трехмерного плотностного поля мы предполагаем выразить через уровень эн-

ропии информации с помощью вышеупомянутой формулы в физико-статистическом смысле Больцмана и Шеннона. Практически это было осуществлено для 18-ти разнообразных районов, в широких пространственных пределах от антарктического сектора Индийского океана до Черного моря. Ранжирование по энтропии информации, отражающей эффективность в продуцировании экосистемы, в первом ряду подтверждается только общей качественной экспертной оценкой. Физические предпосылки биологической продуктивности оценены дополнительно по независимому критерию, представляющему собой количественную оценку интенсивности вертикального водообмена при завихренности потоков над подводными возвышенностями. Значения его оказались пропорциональными уровню энтропии информации трехмерного поля плотности, рассчитанного по данным мезомасштабных океанографических съемок, выполненных в районах этих банок.

Данный критерий (η) оказался подходящим для отражения потенциальных физических возможностей экосистем в тропической зоне океана, которые при размыкании сбалансированной биологической цепи, в том смысле, в котором на это указывал М. Е. Виноградов, могли бы давать гораздо большее количество необходимого для человека продукта. Такое размыкание в выявленных по нашему критерию тропических районах Мирового океана можно осуществить с помощью искусственного апвеллинга. Технические возможности для этого описываются в ряде научных и научно-популярных источников. Ряд соображений по этому поводу представляются нами. При создании таким образом в океане обширной цепи искусственных экосистем человечество смогло бы реализовать упомянутый нами в начале качественный скачок в деле производства продуктов питания.

Практическая значимость работы. Последнее из вышеупомянутых положений, по нашему мнению, должно рассматриваться как наиболее значительное, хотя оно и представляется в работе как гипотеза и как проект направления дальнейших исследований, инженерных разработок и организации по существу нового рыбного хозяйства, способного удовлетворить потребность страны в пищевом белке в удвоенном масштабе по сравнению с существующим уровнем. Мы считаем, что массовое искусственное рыборазведение в открытых водах тропической зоны Мирового океана на базе использования солнечной и волновой энергии, а также потенциальной, заключенной в термохалинной и плотностной структуре водной толщи, является оптимальным и эффективным путем увеличения производства пищевых продуктов в ближайшем будущем.

Показатель уровня энтропии информации трехмерного поля плотности (η), рассчитываемый по данным мезомасштабных океанографических съемок по изложенной в работе методике, может практически использоваться в настоящее время для количественной оценки и сравнения экосистем, где существует регулярный промысел, и в исследуемых в рыбохозяйственном плане районах. Критерий будет репрезентативным для любых акваторий, где поле плотности отражает особенности движения вод и термохалинной структуры.

Выявление критического значения числа Ричардсона для условий кислородного обмена в водной толще и определение механизма и причин заморных явлений в северо-западной части Черного моря уже используется в настоящее время для прогноза этих явлений с двух-трехмесячной заблаговременностью. Такие прогнозы представлялись лабораторией промысловой океанографии ЮгНИРО по запросу промышленности.

Одновременно мы считаем, что весьма важное значение имеют наши выводы по поводу осуществляющейся сейчас общей трансформации черноморской экосистемы. Они были изложены в специальном докладе на Ученом совете ВНИРО, представлены Министерству рыбного хозяйства, сообщены в двух специальных докладах для ГКНТ СССР, на III съезде советских океанологов, на ряде совещаний и симпозиумов по проблеме изменения экосистемы Черного моря.

Сущность нашей гипотезы состоит в том, что при увеличении изъятия речного стока в бассейне Черного моря произойдет осолонение верхнего слоя вод и усиление кислородного обмена, что приведет к интенсивной трансформации его сероводородного слоя. Этот процесс в осеннее время может ускоряться и отрицательно влиять на живую часть экосистемы.

Переход современной черноморской экосистемы к другому типу, когда указанное море станет солоноводным заливом Средиземного, неизбежно будет сопровождаться снижением биомассы объектов современного промысла. Весьма вероятно полное исчезновение некоторых из них. С другой стороны, министерства, планирующие, хозяйственные организации и правительство СССР в настоящее время скорее всего не смогут предпочесть вариант прекращения изъятия речных вод. В этом случае необходимо разумно учесть предстоящие изменения черноморского биоценоза, чтобы избежать значительного экономического ущерба.

К практическим результатам наших исследований, которые уже используются, можно отнести следующие:

Построение карт потенциально продуктивных зон Индийского океана (без антарктического сектора), которые позволяют

сократить объем научно-поисковых работ ориентировочно в 4 раза. Постановлением «Совещания по новым методам поиска с применением космической техники» они рекомендованы для использования всем бассейновым институтам Минрыбхоза.

Выделение потенциально продуктивных зон в юго-западной части Индийского океана послужило ориентиром при дальнейших научно-исследовательских экспедициях. В определенной степени благодаря этому в 1980 году научно-поисковыми судами Управления «Югрыбпромразведка» были обнаружены промысловые скопления некоторых видов рыб в районе банок Западно-Индийского хребта, где может вестись эпизодический промысел.

На основе количественных показателей атмосферной циркуляции над акваторией Черного моря создана методика прогноза (гидрометеорологическая часть) урожайности и поведения основных промысловых видов: хамсы, шпрота и ставриды.

Нижеследующие результаты могут быть применены в рыбохозяйственной практике, практике научно-поисковых и научно-исследовательских работ.

К ним относятся прежде всего методика расчета завихренности поля течения в различных масштабах его временного осреднения по данным приземного барического поля. Косвенная оценка предпосылок урожайности и уровня продуктивности вод в районе Юкатанского шельфа, оценка поля завихренности в районах промысла антарктического криля для суждения об изменениях обстановки в синоптическом масштабе времени, оценка изменений динамических предпосылок для успешности промысловых работ на банках Обь и Лена, определение уровня теплового фона Черного моря, как важного во многих отношениях экологического параметра, — все это может рассчитываться по элементам указанной методики учета атмосферной циркуляции.

Изменения численности черноморской ставриды, видимо, можно рассчитывать по эксцессу ее распределения в температурном поле. Этот метод, разработанный совместно с В. А. Костюченко, может быть использован, по нашему мнению, при наличии соответствующих наблюдений, и по отношению к другим промысловым видам рыб в различных районах Мирового океана.

Косвенный критерий динамических предпосылок биологической продуктивности над автономными банками в открытом океане, использованный нами для доказательства репрезентативности более общего показателя, — энтропии информации трехмерного поля плотности (η), может быть полезен и сам по себе для подобных оценок таких районов.

Личный вклад автора. Предлагаемая работа, с учетом ее направленности, основных идей, замысла и назначения, является в своей значительной части обобщением научного и практического опыта автора, полученного за 30-летний период работы в области промысловой океанологии. Поэтому в ее изложении основная часть относится к результатам исследований, идеям и концепциям автора. Существенную часть результатов составляют решения, полученные коллективами сотрудников и отдельными сотрудниками под руководством автора, но при условии, что последнему принадлежала основная идея или гипотеза исследования. В значительной степени это определялось тем обстоятельством, что автор возглавлял лабораторию промысловой океанологии АтлантНИРО (1968—1969 и 1971—1974), промысловой океанографии ЮгНИРО (с 1974 по настоящее время) и осуществлял руководство океанографическими работами в Кубинском Центре Рыбохозяйственных Исследований (Гавана) с 1969 по 1971 год.

В работу включены также результаты, полученные при совместных исследованиях с другими океанологами при равноценном вкладе автора. Они составляют примерно пятую часть в общем изложении и обнаруживаются с помощью соответствующих ссылок. Последние же представляют перечень работ, включенных в необходимые обобщения, а также относящихся к тем, что послужили автору основой и отправными моментами в его исследованиях.

Автор принимал участие в организации и планировании практически всех экспериментов и экспедиций, материалы которых использовались для получения изложенных результатов. При этом, в более чем 20 экспедициях принимал непосредственное участие. Из 30 автономных буйковых станций, например, чьи данные использованы в перечисленных исследованиях, 27 выполнены автором.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались: на 2-й, 3-й, 4-й, 5-й Всесоюзных конференциях по промысловой океанологии (соответственно: Калининград, 29—31.05.73; Керчь, 15—17.10.1975; Мурманск, октябрь 1977; Калининград, 13—15.11.1979); на научно-практической конференции «Биологические ресурсы больших глубин и пелагиали открытых районов Мирового океана» (Мурманск, 12—13.03.1981); на 3-м Всесоюзном совещании по изучению биологических ресурсов больших глубин и эпипелагиали открытого океана; на Совещании по новым методам поиска с применением авиакосмической техники (Минрыбхоз, Керчь, 17—18.11.1981); на 3-м Всесоюзном симпозиуме по антропогенному эвтрофированию природных вод (Москва, сентябрь 1983);

на 8-м съезде Географического общества СССР (Киев, октябрь 1985); на Симпозиуме по экосистеме Черного моря (ИО АН СССР, февраль 1989); на заседаниях Бассейновой секции АН УССР: «Индийский океан и южные моря» (Севастополь, ноябрь 1978, 20—21.11.1980); на расширенном заседании секции Центрального правления НТО пищевой промышленности (Севастополь, 14—15.10.1981); на заседании Ученого совета ВНИРО (Москва, апрель 1981); на балансовых конференциях Центра Рыбохозяйственных Исследований Республики Куба (Гавана) в 1969 и 1970 годах; на 2-м и 3-м съездах океанологов (Ялта, 10—17 декабря 1982; Ленинград, декабрь 1987); на ежегодных отчетных сессиях ЮгНИРО с 1975 по 1989 год.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 26 работ.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа изложена на 286 страницах и включает 20 таблиц и 56 рисунков. Список литературы содержит 231 наименование, из них 16 работ на иностранных языках. Работа состоит из введения, 4-х разделов и заключения.

Введение. Во введении нами представляются актуальность проблемы, цели и задачи исследований, определяются основные термины. Подчеркивается, что продуктивность морских экосистем понимается в соответствии с Богоровым как производительность органического вещества всем сообществом живой части экосистемы, частью которой является рыбопромысловая продуктивность, а океанологические основы — как комплексные физические элементы ее абиотической части, к которым мы относим трехмерное поле течений, термохалинную и плотностную структуру, условия развития турбулентного перемешивания.

Дается обобщение предшествующих исследований в плане оценки роли и значимости первичных физических параметров: солнечной радиации, тепла, солености и плотности среды, движений в водной толще и т. д., а также экологической роли вторичных параметров, которая выявляется, в основном, исследователями в рамках собственно промысловой океанологии.

Описываются некоторые подходы к обобщению механизма продуцирования в морских экосистемах, к которым мы относим энергетическое направление и концепцию общей оценки эффективности систем по уровню разнообразия их абиотической составляющей.

1. Экологическая роль завихренности поля течений. Завихренность — физическое явление, исследование которого не завершено даже в общем теоретическом плане. Изучению океанских вихрей разного масштаба уделяется в настоящее время большое внимание.

Экологическая роль вихря в водной среде обусловлена его относительной стационарностью и замкнутостью, которые создают таким образом систему, именуемую иногда станцией, благоприятную для существования биоценозов. Промысловые виды рыб могут реализовывать в нем весь жизненный цикл или часть его, и тем успешнее, чем большая степень устойчивости и закрытости будет у данной циркуляционной системы.

Несмотря на то, что детерминированная модель завихренности, достаточно адекватная реальной, пока не создана, промысловая океанология рассматривает в физико-статистическом плане зависимости между поведением и урожайностью объектов промысла и определенными элементами циркуляционных систем, которые можно определить, прямо или косвенно, при условии упрощенного или достаточно обобщенного подхода, крупномасштабных осреднений, оценки косвенных признаков, рассмотрения отдельных важных сторон. К последним могут относиться: место циркуляционной системы, ее синоптическая и сезонная устойчивость, ее знак и размеры.

Наши исследования выполнялись в общем плане задач промысловой океанологии в конкретных районах. Они включают непосредственные инструментальные наблюдения над течениями, различные способы их расчета, оценку циркуляции по косвенным признакам, поиски связи с изменениями гидроструктуры с атмосферной циркуляцией и, основное, с поведением или урожайностью определенных промысловых рыб.

При производстве наблюдений наибольшее внимание уделялось автономным буйковым станциям. Нами использованы данные 30. Продолжительность станций от одних суток до 45-ти. Районы постановок: восточные шельфы США и Канады, Юкатанский шельф, район архипелага Кергелен, Черное море. Описываются методы постановок, производства работ, анализа результатов.

Для расчетов течений чаще всего использовалась геострофическая модель (динамический метод). В практике ее применения приходилось использовать различные приемы для определения глубины нулевой поверхности. Наиболее широко использовался метод Л. К. Моисеева, в технику которого мы внесли некоторые полезные детали.

Дрейфовые течения моделировались с помощью аналоговых машин при многолетних (с 1967 по 1989 гг.) хозяйственных работах АтлантНИРО и ЮгНИРО с Лабораторией электрического моделирования ЛГМИ (по методике, описанной в монографии В. А. Макарова и А. Б. Мензина). Определенные тем или иным способом течения в значительной части служили материалом расчета завихренности. Последняя, естественно, не

могла быть получена с помощью полного уравнения вихря из-за его сложности и недостатка необходимых данных. Нами обычно использовалось выражение относительного вихря

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y},$$

где u и v соответственно составляющие течения на параллель и меридиан, рассчитанного по одной из вышеперечисленных методик.

Именно поле относительного вихря, а также, в ряде случаев, поле индекса его пространственной изменчивости, при сопоставлении с распределением различных организмов, таких, например, как определенные виды бентоса на шельфе островов Кергелен или антарктического криля в море Содружества, позволили нам прийти к весьма важному выводу об определяющей экологической роли антициклонической завихренности. Эта форма циркуляции обеспечивает скапливающий эффект, препятствующий механическому разносу рыб и беспозвоночных, их икры, личинок и молоди. Для активнодвигающихся особей здесь реализуется оптимальный режим энергетических затрат, молодь и личинки избегают в таких круговоротах рассеяния и обеспечиваются пищей, которая также механически скапливается в этой области. Ряд океанологов в общем плане уже указывали на такой эффект антициклонической завихренности. Нами эта закономерность показана на конкретных примерах. Это позволило сделать вывод о том, что антициклоническая завихренность является не только весьма важным в экологическом смысле динамическим фактором, но и носит более общий характер по сравнению с циклонической. Если последняя обеспечивает приток биогенных солей в фотический слой в тропической и умеренных зонах океана (апвеллинг), то аккумулярующий эффект антициклонического вихря важен как в этих, так и в полярных широтах, где он становится основной предпосылкой биологической и промысловой продуктивности.

Значительное внимание уделено описанию различных методов количественной оценки атмосферной циркуляции, поскольку она позволяет выявить особенности режима циркуляции вод и изменений термохалинной структуры в конкретных районах. При найденном или предполагаемом механизме взаимодействия успешно находятся корреляционные связи между урожайностью или поведением (образование и распад скоплений) объектов промысла с одной стороны и изменениями в гидроструктуре под действием атмосферной циркуляции с другой.

В третьем подразделе приводятся наиболее характерные решения конкретных задач с помощью оценки поля течений. В

случае исследований Юкатанского шельфа показана зависимость интенсивности поступления глубинных продуктивных вод в фотический слой, что определяет урожайность некоторых промысловых видов рыбы, от изменений приземного барического поля над акваторией Мексиканского залива и Карибского моря. Иллюстрируется связь атмосферной циркуляции с изменением поля течений и гидроструктуры. Описывается методика расчетов таких изменений по материалам ежедневных барических карт для суждения о перспективах изменений продуктивности вод района банки Кампече.

Рассчитанные с помощью аналогового моделирования, а также взятые из Атласа Антарктики, карты течений поверхностного слоя индоокеанского сектора Антарктики использованы для расчета карт относительного вихря и его пространственных изменений. Сопоставление этих карт с распределением скоплений антарктического криля позволило выявить экологическую значимость антициклонической завихренности и интенсивности завихренности вообще. Наиболее благоприятное воздействие антициклонических мезомасштабных вихрей, по нашему предположению, обусловлено повышенной вероятностью зон с минимальным горизонтальным переносом, сопоставимых по масштабам с крилевыми скоплениями (пятнами). В циклонических круговоротах такая вероятность меньше, и наименьшая она имеет место в незавихренных потоках, где условия для разноса в указанном масштабе встречаются наиболее часто.

Предлагаемая методика расчета изменений динамических условий по данным барических карт, принимаемых с помощью факсимильной аппаратуры с советской антарктической станции «Молодежная», может быть использована на промысле криля в море Содружества для оперативного прогнозирования.

Для Черного моря в методическом подразделе описываются также способы оценки его теплового фона и урожайности ставриды с помощью данных атмосферной циркуляции и солнечной активности.

2. Экологическая значимость некоторых сторон гидроструктуры. Вместе с динамикой физическая структура водной толщи обеспечивает усложнение механизма морских экосистем, удлинение пути трансформации доступной энергии, уменьшение скорости нарастания энтропии, увеличение предпосылок для существования и развития биоценоза. Задачей данного раздела является представление методов, которые выявляют особенности гидроструктуры, пригодные для оценки районов Мирового океана с повышенной интенсивностью продуцирования живой биомассы и условиями для образования скоплений объектов рыболовного промысла.

Экологически значимыми производными термохалинной и плотностной структуры вод являются поверхности повышенных градиентов океанографических характеристик — пикноклин и фронтальные зоны. Именно эти граничные поверхности, как указывают Т. А. Айзатулин, В. Л. Лебедев и К. М. Хайлов, являются преобразователями, накопителями и источниками энергии.

Общеизвестно, что пикноклин является необходимым условием первичного продуцирования в океане, однако он не менее важен и для высших трофических уровней биологической цепи. Без него невозможны образования скоплений антарктического криля, реализация жизненного цикла различных представителей флоры и фауны гидросферы, накопления кормовой биомассы. Топография сезонного пикно- и термоклина является указателем признаков апвеллинга и ориентиром при поиске тунцов. Фронтальные зоны являются признаками тесного соприкосновения водных масс различного происхождения и отличающихся по своим океанографическим характеристикам. Оба указанные явления создают аномалии в пространственном распределении океанографических характеристик — главную и наиболее значимую особенность гидроструктуры, приносят новую информацию при проникновении в пределы более высоких или низких широт, больших или меньших глубин, что стимулирует усиление развития живой части экосистемы. Такую роль выполняют водные массы тропических и умеренных широт, принося дополнительное тепло в полярные акватории, или воды высоких широт, приносящие биогенные соли при проникновении в поверхностные и, особенно в глубинных горизонтах, в умеренные и тропические широты.

Представляемые в работе методы выявления экологически важных особенностей гидроструктуры делятся на три группы: учет распределения объектов промысла в температурном поле, использование косвенных признаков подъема и опускания вод, *T, S*-анализ водных масс.

В первую группу входят два основных метода. Первый, весьма широко применяемый в промысловой океанографии и состоящий в отыскании приуроченности рыбных скоплений к водной массе с определенным диапазоном температуры, использован нами для прогноза времени образования промысловых скоплений черноморского шпрота и для оценки успешности промысла серебристого хека на Новоанглийском и Новошотландском шельфах. Второй, принципиально новый, основан на оценке относительного изменения запаса определенного вида рыб по характеру их статистического распределения в температурном поле. Он разрабатывался с учетом предположения Ройса,

считающего, что при увеличении количества особей любой вид рыб должен расширять свой оптимальный диапазон существования основных океанографических характеристик. На примере черноморской ставриды нам удалось показать, что ее количество (*P*) пропорционально не линейному увеличению диапазона температуры поверхностного слоя вод, а эксцессу распределения (*E*) ее в температурных координатах:

$$P = 1380(E + 2)^{-1,8}.$$

Мы предполагаем, что такой подход к оценке численности особей, относительной или абсолютной, может быть применен ко многим промысловым видам.

Вторая группа включает метод расчета пространственных аномалий океанографических характеристик и метод наложения полей. Уровень аномальности на любом горизонте, например, температуры воды, оценивается с помощью формулы:

$$a_z - t_z = \bar{t}_z,$$

где *z* — глубина горизонта, *t_z* — значение температуры в конкретной точке на данном горизонте, \bar{t}_z — среднее значение температуры в пределах определенной акватории на анализируемой плоскости. Выбор площади осреднения — основная задача метода, решаемая для каждой анализируемой акватории.

При графическом сложении карт аномалий нескольких океанографических характеристик можно классифицировать полученные зоны по степени их устойчивости и надежности в зависимости от количества совпадающих характеристик.

К третьей группе относятся некоторые разновидности *T, S*-анализа. Последний широко применялся нами для района Новошотландского шельфа и банки Джорджес, где с его помощью была произведена количественная оценка не только основных водных масс, но и сезонная изменчивость тепло- и соленого в их объемах. При использовании в других районах было установлено, что метод треугольников смешения не всегда оказывается эффективным, в особенности в сложных районах, включающих источники распресненных и осолоняющихся вод или просто в достаточно обширных районах. Поэтому нами была разработана и использована другая модификация, *T, S*-анализа, включающая в качестве основного элемента систему из нескольких объединенных треугольников, отражающую процесс образования и трансформации водных масс. Данный метод успешно использован для анализа водных масс Мексиканского залива.

Ряд примеров анализа термохалинной структуры выделен в отдельную третью часть раздела. Все они являются образцами исследования весьма обширных акваторий, на которых с помощью указанной методики выделяются потенциально продуктивные зоны, то есть зоны с признаками устойчивого апвеллинга. К этим акваториям относятся: Мексиканский залив, юго-западная часть Индийского океана и весь Индийский океан, за исключением его антарктической части (южнее 40° ю. ш.).

Для Мексиканского залива выявлены зоны подъема вод для двух полугодий с помощью осреднения значений температуры вод на горизонте 100 м. Вся акватория залива разделена сначала на районы подъема и районы опускания вод, затем выделены зоны интенсивного подъема, оцениваемые по отрицательным аномалиям температуры, величиной в 3 и более градусов.

В юго-западной части Индийского океана (20—40° ю. ш., 40—70° в. д.), где под руководством автора была выполнена специальная макромасштабная океанологическая съемка (НПС «Профессор Месяцев», январь—март 1977 г.), получены поля распределения температуры, солености, растворенного в воде кислорода, фосфатного фосфора, кремниевой кислоты. Удалось сопоставить аномалии температуры, солености, топографию сезонного термоклина и завихренности течений. При совпадении всех четырех характеристик (отрицательная аномалия температуры, положительная солености, приподнятый термоклин и циклоническая завихренность) обозначались потенциально продуктивные зоны района, а при наличии некоторых признаков (три и менее) — соответственно признаки зон.

Выявление потенциально продуктивных зон всего Индийского океана — наиболее значительная по объему и важности работа. Были рассчитаны аномалии температуры на горизонте 100 м, построены карты топографии сезонного термоклина, карты распределения фосфатного фосфора на нижней границе фотического слоя (В. А. Химица) и карты вертикальных течений (Н. П. Помазанова). Специальными обозначениями отражены зоны совпадения всех перечисленных признаков подъема вод, а также комбинации трех, двух и наличие хотя бы одного признака. В такой последовательности оценивается надежность выделения или временная устойчивость зоны.

Выделенные зоны показывают в первую очередь области известных прибрежных апвеллингов, что является хорошей проверкой репрезентативности метода. Благодаря этому мы можем с уверенностью обозначить зоны устойчивого апвеллинга в открытом океане.

3. Условия развития турбулентного перемешивания как предпосылка трансформации экосистемы Черного моря. Турбулентность является главнейшей и неотъемлемой частью физического механизма экосистемы. Без турбулентных движений, как отмечают А. С. Монин и Р. В. Озмидов, невозможно снабжение верхних слоев океана биогенными солями, а глубинных — кислородом. Наиболее широко характеристики турбулентности используются при исследованиях загрязнения водной среды. В экологическом и рыбохозяйственном плане они до сих пор практически не рассматривались.

Нами используется параметр условий развития турбулентного перемешивания, именуемый числом Ричардсона (Ri). Он является критерием развития турбулентности в стратифицированном океане и в этой форме служит достаточной общей характеристикой, поэтому часто используется океанологами для исследования многих физических процессов: перемешивания, трансформации водных масс, разрушения внутренних волн, перемещения вод и льдов и т. д. Считается целесообразным в настоящее время создание массива данных Ri и разработка специального прибора для его измерений.

Критерий предложен Ричардсоном для оценки состояния атмосферы. Для водной среды он используется в виде:

$$Ri = -g \frac{\partial \rho}{\partial z} \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right|^2,$$

где g — ускорение силы тяжести, ρ — плотность ($\bar{\rho}$ — средняя плотность) воды, u — скорость течения. Объединение в одном показателе условий стратификации и сдвига течений обуславливает трудность его получения при наблюдениях в море, но зато позволяет объяснить некоторые особенности водной толщи, что невозможно выполнить при обычном анализе полей океанографических характеристик.

Данный показатель мы используем для оценки условий кислородного обмена при выяснении причин заморных явлений на шельфе северо-западной части Черного моря.

Для расчетов Ri использовано вышеуказанное выражение в конечно-разностной форме. При наблюдении в море получались данные на границах определенных слоев, так как пока невозможно получение Ri в виде непрерывной функции. Наблюдения на многосуточной стационарной станции можно было выполнять с повышенной подробностью — до 1 м. При представлении этой характеристики в виде поля с помощью океанографических съемок (например, специальная съемка НПС «Скиф» в рейсе по программе СЭВ под руководством автора) замеря-

лись значения температуры, солености и скорости течений на границах слоя наивысшего вертикального градиента плотности для Черного моря в зимний период — 50 — 75 м. Данные наблюдений в дрейфе не давали возможности получения истинных значений течений из-за искажающего влияния движения судна, но их разница (сдвиг) получалась реальной, так как это искажение входило в оба значения.

Графическое сопоставление распределения кислорода и параметра Ri позволило найти критическое значение последнего при кислородном обмене, равное примерно 10. Отличие его от критических значений для перехода к турбулентному движению (0,25; 0,5; 0,1) иллюстрирует указание А. Иванова в его «Введении в океанографию» о разнице таковых при обмене количеством движения, теплом и субстанцией. При переходе значения через 10 обнаруживались признаки разрушения верхнего, блокирующего кислородный обмен, слоя. Превышение этой величины его восстанавливало. Полагаем, что найденное значение не является региональным, но имеет универсальный характер и скорее всего определяет условия гипоксии во многих районах Мирового океана, в таких, например, как Аравийское море (при зимнем муссоне), некоторые фиорды, впадина Кариакко, обширные области в тропической части Тихого океана, районы Бенгельского течения в Атлантике.

Усилившиеся в 70-е годы заморные явления на шельфе северо-западной части Черного моря нанесли ущерб биоценозу района и определили необходимость установления их причин, перспектив развития и возможностей предотвращения. Были предложены гипотезы по механизму явления, преобладающая часть которых включала загрязнение и эвтрофикацию бассейна.

Специальными исследованиями, проведенными лабораторией промысловой океанографии ЮгНИРО в период с 1978 по 1989 год удалось установить, что заморные ситуации в данном районе создаются при условиях подавления вертикального перемешивания блокирующим слоем, в котором плотностная стратификация и сдвиг течений вместе определяют значение $Ri > 10$. При этом количество органики является фоновым условием. Последняя в любом количестве успешно окисляется при свободном доступе кислорода интенсивного турбулентного перемешивания, не создавая дефицита этого газа. При наличии слоя, блокирующего перемешивание, даже небольшое количество органических веществ обуславливает гипоксию и сероводородное заражение.

Оказалось, что непосредственными океанографическими причинами заморных явлений были следующие:

1. Распространение при слабом перемешивании пресных и прогретых в водохранилищах вод во время их сброса в конце весны.

2. Существование и адвекция при незначительном перемешивании глубинных холодных и соленых вод, создающих условия чрезвычайно высокой плотностной стратификации в летний период.

3. Ослабление течений при многодневных штилевых погодах во второй половине лета.

4. Распространение в придонных горизонтах соленых и сравнительно быстро выхолаживаемых в начале осени вод из солоноводных (так называемых «отрицательных») эстуариев.

Причиной усиления заморных является изменение гидроструктуры региона из-за изъятия речного стока на нужды народного хозяйства. Ни одна гидрометеорологическая характеристика в районе Черного моря при наших исследованиях не показала в своих изменениях устойчивого многолетнего тренда, кроме солености придонных горизонтов в ряде точек северо-западного шельфа. Приток соленых вод в пределы указанной акватории, обусловленный нарастающим изъятием пресных, способствует усилению стратификации в прибрежных районах, в интервале глубин от 10 до 30 м. При снижении интенсивности течений в маловетренные сезоны и относительно засушливые годы реализуются обширные экологические кризисы. В последнее время они происходят ежегодно, увеличиваясь по пространству и времени.

Дальнейшее осолонение шельфовых вод обеспечит уменьшение вертикального градиента плотности, и заморные явления прекратятся. Однако одновременно продолжится ослабление блокирующего слоя в открытой глубоководной части моря. Таким образом, при планируемом увеличении объема пресного стока (до 40% от общего годового) неизбежна трансформация основного сероводородного слоя Черного моря, которая в отдельные периоды (например, осенью, при разрушении сезонного термоклина) может происходить весьма быстро, создавая условия для массовых выходов сероводорода в верхние слои моря и даже за пределы водной толщи. Эти изменения повлияют (и уже по некоторым данным повлияли) на гидрохимический режим моря, что заведомо отрицательно скажется на живой части экосистемы.

При хозяйственном планировании на предстоящий период, когда Черное море будет превращаться в солоноводный залив Средиземного, а его экосистемы полностью изменятся, необходимо разумно учесть неизбежные снижения в объеме добычи объектов промысла и даже их исчезновение, чтобы сделать

экономический ущерб минимальным. Альтернативное решение — прекращение увеличения объема речных вод бассейна и постепенное его сокращение.

4. Мера разнообразия (энтропия, информация) трехмерного поля плотности как наиболее общий показатель физических предпосылок биологической продуктивности морских экосистем.

В данном разделе решается вопрос о возможности выражения физических основ биологической и рыбопромысловой продуктивности морских экосистем, в том числе и рассмотренных в предшествующих разделах, одним количественным показателем.

Если иметь в виду полное количественное отражение всех физических сторон экосистемы, то на поставленный вопрос следует ответить отрицательно. Даже при учете всей энергии на входе и выходе системы мы не смогли бы учесть длину путей ее трансформации и скорость нарастания энтропии. Механизм природной экосистемы, в отличие от искусственного, технического, включает комплекс деталей, с самых разных сторон и в разной степени влияющих, или влияющих периодически, на систему трансформации энергии. Этот комплекс представляет собой неупорядоченную (энтропийную) часть системы, которая снижает общую эффективность, но обеспечивает ее живой части определенное количество степеней свободы для приспособительных изменений.

В то же время, видимо, возможно частное решение данной задачи, если попытаться найти не абсолютный, но наиболее общий показатель. Известно, например, что такой наиболее общей океанографической характеристикой любой достаточно обширной морской акватории является трехмерное поле плотности, отражающее поле течений, термохалинную структуру и в их сочетании — условия развития турбулентного перемешивания.

Мера сложности и разнообразия указанного поля, по нашему предположению, может отразить и уровень физических предпосылок суммарной биологической продуктивности морской экосистемы. Эта мера выражается статистикой значений вертикальных и горизонтальных градиентов плотности в ограниченном мезомасштабном объеме вод. Общей оценкой их совокупности может служить количество информации (энтропия) или уровень разнообразия.

Работа над методикой расчета этого показателя для конкретных районов Мирового океана включала выбор следующих параметров: основания логарифма в ее формуле, оптимальных размеров исследуемого объема вод, величины дискретности при разделении значений градиентов на классы, переходного мно-

жителя для объединения выборок вертикальных и горизонтальных градиентов в одну совокупность.

Задача решалась с помощью численных экспериментов на ЭВМ АСВТ М—4030 в отделе АСУ ЮгНИРО. В качестве оптимального варианта принята методика расчета по формуле:

$$\eta = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

где P_i — вероятность различных состояний системы, в данном случае значений пространственных изменений плотности воды. Мощность исследуемого слоя — 500 и менее метров при горизонтальном масштабе порядка десятков и сотен миль. Шаг деления на классы значений плотности равен 10^{-3} условных единиц σ_t на метр. Объединяющий множитель — 10^{-3} .

Величины значений были вычислены для 6-ти районов, существенно различающихся по своим океанографическим характеристикам. Из них наибольшая оказалась для акватории шельфа северо-западной части Черного моря, наименьшая — для антарктических банок Обь и Лена. Промежуточные значения расположились в такой последовательности: открытая часть Черного моря, район Сомалийской котловины, район Западно-Индийского хребта. Правильность отражения сложности плотностного поля здесь очевидна. Последовательность в уровне суммарной продуктивности экосистем тоже представляется верной, хотя экспертные оценки ее менее однозначны.

Для объективной проверки нами предпринят поиск другого физического критерия, который отражал бы, по возможности, обе стороны — абиотическую и биотическую. Наилучшим оказался вариант оценки степени вертикального водообмена в районах подводных возвышенностей, отражающий перенос глубинных продуктивных вод в зону фотосинтеза. Среди всех физических предпосылок это явление (апвеллинг) наиболее достоверно ассоциируется с биологической продуктивностью.

Выражение для расчета указанного критерия выглядит следующим образом:

$$D_s = n^{-1} \sum_{n=1}^n H + k^{-1} \sum_{k=1}^k h + h_{max} - h_{min}$$

где H — значение глубины изопикны, выбранной в слое минимальных изменений этой величины, n — количество значений H в выбранной для фоковой характеристики области, h и k — соответственно значения глубин этой же изопикны и количество значений в пределах мезомасштабной съемки над подводной возвышенностью, h_{min} и h_{max} — соответственно наибольшее

и наименьшее значения глубины изопикны в вышеуказанной выборке.

Критерии η и D , были вычислены нами для одиннадцати мезомасштабных съемок в районах банок, относящихся к хребтам: Мозамбикскому, Западно-, Центральному- и Восточно-Индийскому. Графическое сопоставление полученных значений обоих критериев показало их прямую связь. Таким образом, первый более универсальный критерий может быть использован для оценки различных районов Мирового океана, как промысловых, так и исследуемых для сравнительной оценки продуктивности их экосистем.

Дополнительным результатом вышеописанных исследований явилась гипотеза об отражении показателем η также благоприятных потенциальных физических предпосылок высокой биологической продуктивности тропических районов Мирового океана, которая могла бы быть реализована при создании на базе искусственного апвеллинга аквахозяйств в открытом море.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

(Основные результаты исследований)

Раздел является обобщающим и заключительным. Поскольку в разных главах работы отражены решения ряда важных вопросов, получены практические результаты, которые использованы или могут быть использованы в рыбохозяйственной практике, а также представляются определенные методические решения, которые могут быть полезными при океанографических исследованиях, возникла необходимость их выборки, обобщения и отдельного изложения с разделением по предлагаемой классификации для удобства оценки и, в дальнейшем, использования.

Содержание раздела фактически уже изложено во второй части реферата, где перечисляются научные и практические результаты исследований.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Смещение границ водных масс района банки Джорджес под действием атмосферной циркуляции // Труды АтлантНИРО, 1970. Вып. 27. С. 27—33.

2. Объемный статистический T , S -анализ водных масс района Новошотландского шельфа и банки Джорджес // Океанология, 1971. Т. 11. № 1. С. 22—26 (совместно с А. А. Бариновым).

3. Постоянные течения в районе банки Кампече // Океанология, 1973. Т. 13. № 2. С. 222—255 (совместно с Х. А. Гомесом).

4. Водные массы и продуктивные зоны Мексиканского залива // Советско-Кубинские рыбохозяйственные исследования: Тр. ВНИРО — ЦРИ. М., 1974. Вып. 4. С. 16—24.

5. Колебания постоянных течений и уровня глубинных вод у склонов Юкатанского шельфа под действием атмосферной циркуляции // Советско-Кубинские рыбохозяйственные исследования: Тр. ВНИРО — ЦРИ, 1974. Вып. 4. С. 25—33.

6. Абиотические индексы урожайности черноморской ставриды // Вопросы ихтиологии, 1977. Т. 17. Вып. 6 (107). С. 1131—1134 (совместно с В. А. Костюченко).

7. Опыт определения макромасштабных зон скопления антарктического криля (*Euphausia Superba Dana*). // Результаты рыбохозяйственных исследований в индийском секторе Антарктики: Тр. ВНИРО, 1977. Т. 120—А. С. 50—54 (совместно с Э. З. Самышевым).

8. Течения поверхностного слоя вод в районе острова Кергелен. // Закономерности формирования зоны продуктивности в районе острова Кергелен: Тр. ВНИРО — 1978. Т. 133—А. С. 11—18 (совместно с Т. Г. Касич и Н. П. Помазановой).

9. Особенности распределения массовых видов агглютинирующих фораминифер на шельфе острова Кергелен. // Закономерности формирования зоны продуктивности в районе острова Кергелен: Тр. ВНИРО, 1978. Т. 133—А. С. 48—60 (совместно с И. Г. Рубинштейном, В. И. Михалевич, Т. Г. Касич).

10. Связь распределения сеголетков черноморской ставриды в температурном поле с численностью поколений разных лет // Вопросы ихтиологии, 1979. Т. 19. Вып. 4 (117). С. 751—752 (совместно с В. А. Костюченко).

11. Особенности геострофических течений и зоны субтропической конвергенции в юго-западной части Индийского океана // Океанология, 1979. Т. 19. № 4. С. 593—599 (совместно с С. В. Павлухиным и А. С. Пелевиным).

12. Число Ричардсона как показатель интенсивности вертикального переноса кислорода в Черном море // Океанология, 1981. Т. 21. № 4. С. 624—626.

13. Расчет синоптической изменчивости циркуляции вод в антарктическом секторе Индийского океана // Исследование и освоение Мирового океана. Вып. 77. Л.: Изд-во Лен. политех. ин-та, 1982. С. 28—33 (совместно с А. Б. Мензиным, Н. А. Рябчиковой, Н. А. Сыроватко).

14. Энтропия информации трехмерного поля плотности как показатель физических предпосылок биологической продуктив-

ности морских экосистем // Результаты океанографических исследований в пелагиали Индийского океана: ВНИРО, М., 1983. С. 72—81.

15. Условия образования скоплений сквамы на банках Обь и Лена в Антарктике. // Условия образования промысловых скоплений рыб: ВНИРО, М., 198. С. 171—174 (совместно с П. О. Ломакиным и А. Б. Фримером).

16. Методика выделения потенциально продуктивных зон Индийского океана // Промысловая океанология. М.: Агрпромпиздат, 1986. 336 с. (С. 287—297) (совместно с Н. П. Помазановой и В. А. Химицей).

17. Методические рекомендации по гидрометеорологическому прогнозированию для основных объектов промысла в Черном море. Керчь: 1987. 42 с.

18. Динамика верхней границы сероводородной зоны Черного моря: анализ натуральных наблюдений и результатов моделирования // Океанология, 1988. Т. 28. Вып. 2. С. 236—243 (совместно с Д. Я. Фашуком, Т. А. Айзатуллиным, С. В. Багоцким и А. В. Леоновым).

19. О структуре верхней границы сероводородного слоя Черного моря // Океанология, 1988. Т. 28. Вып. 3. С. 405 (совместно с А. А. Новоселовым и Д. Я. Фашуком).

20. Перемещения скоплений антарктического криля (*Euphausia Superba Dana*) в районе моря Содружества // Океанология, 1989. Т. 29, № 5. С. 832—835 (совместно с В. А. Бибином).

21. Гидрометеорологическая база основных черноморских рыбопромысловых прогнозов // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования: Тр. ВНИРО, 1989. С. 282—291.

22. Carta de las corrientes constantes del banco de Campeche. // 3 Reunion de Balance de Trabajo: CIP. La Habana, 1972, p. 165—199 (con. J. A. Gomes).

23. Masas de agua y zonas productivas del Golfo de Mejico. // 3 Reunion de Balance de Trabajo: CIP. La Habana, 1972, p. 79—86.

24. Oscilaciones de las corrientes constantes y del nivel de las aguas profundas junto a los taludes de la plataforma de Yucatan bajo la accion de la circulacion atmosferica. // 3 Reunion de Balance: CIP. La Habana, 1972, p. 145—153.

25. A volumetric statical T—S analisis of the Nova Scotia Shelf and Georges Bank water masses. // Research Bulletin, no 9, Canada, 1972, p. 21—25 (with A. A. Barinov).

26. Water Temperatures in the Nova Scotia Shelf and Georges Bank Areas. 1960—68. // Spec. publ, ICNAF, 1975, no 10, p. 107—114.

Подписано в печать 19.10.90. Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Объем 2 п. л.
Зак. 1109.

Типография ЧВВМУ им. П. С. Нахимова.