

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Нгуен Данг Киен

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА БИОПРОДУКТИВНОСТЬ
ВОД И ВЫЛОВ ТУНЦА В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ**

Специальность: 25.00.28 – Океанология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание

ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук,
профессор Малинин В.Н.

Научный консультант:
доктор географических наук,
профессор Бухарицин П.И.

Астрахань – 2016

Содержание

Введение	4
Глава 1. Физико-географическая и гидрометеорологическая характеристика Южно-Китайского моря	10
1.1 Физико-географическая характеристика	10
1.2. Климатологическая характеристика	14
1.3. Гидрологическая характеристика моря.....	21
Глава 2. Материалы и методы исследования	36
2.1. Объект исследования	36
2.2. Материалы исследования	37
2.3 Статистические методы анализа данных, используемых в работе	38
Глава 3. Основные закономерности формирования биологической и промысловой продуктивности вод Южно-Китайского моря	54
3.1. Особенности распространения тунца в Мировом океане	54
3.2. Особенности распространения тунца по акватории Южно-Китайского моря	67
3.3. Влияние температуры воды на биологическую продуктивность Южно-Китайского моря	72
3.4. Пространственно-временная изменчивость глубины изотермы 24 °С ...	76
3.5. Статистическая модель вылова тунца по данным температуры воды поверхностного слоя моря	81
Глава 4. Статистическое моделирование и прогнозирование вылова тунца в Южно-Китайском море.....	85
4.1. Современное состояние добычи тунца	85
4.2. Статистическая модель вылова тунца в зависимости от экономических и океанологических факторов	93
4.3. Методологические аспекты прогнозирования вылова рыбы	98
4.4. Прогнозирование вылова тунца в Южно-Китайском море	103
Заключение	108

Список сокращений и условных обозначений.....	111
Список литературы	112
Приложение.....	122

Введение

Актуальность темы исследования. Для Южно-Китайского моря характерна исключительно высокая биологическая продуктивность его вод, что способствует формированию здесь больших промысловых запасов пелагических рыб (тунцы, южная сельдь, сардины, скумбрия, и др.), а близость береговой зоны и стремительный рост экономики и населения вызывают необходимость наращивания промысловых усилий. Но особое значение имеет промысел тунца, как исключительно ценного в пищевом отношении и пользующегося неограниченным спросом у потребителя. Вылов тунца занимает 1-е место в структуре экспорта морских рыбопродуктов из Вьетнама в более чем 60 стран мира [92] и в 2015 году он составил более 408 млн. USD. Однако интенсивный промысел тунца во Вьетнаме начал развиваться только с начала нынешнего столетия, когда Правительством страны была поставлена стратегическая задача резкого усиления промысла путем ускоренного строительства новых более мощных рыболовных судов, реорганизации береговой инфраструктуры, применения новых технологий в переработке рыбной продукции, в расширении сотрудничества с другими странами в регионе и в мире и т.д. Это стало возможным в результате стремительного роста валового внутреннего продукта Вьетнама, который за 15 лет вырос в 6 раз.

Очень важно отметить, что есть возможность наращивания вылова рыбы без угрозы подрыва промыслового запаса, который по данным Научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства Вьетнама оценивается в 662-670 тыс. тонн. При этом общий допустимый улов принимается около 233 тыс. тонн, а добывается в настоящее время примерно 80 тыс. тонн в год [89].

Главным абиотическим фактором, влияющим на формирование и изменчивость характеристик биопродуктивности вод Южно-Китайского моря (ЮКМ), а также на распределение и миграции тунца, является температура воды. Воздействие других абиотических факторов менее значимо. Хотя Научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства Вьетнама выполнена многолетняя работа по оценке влияния различных температурных характеристик на изменения параметров биопродуктивности, однако закономерности их

межгодовой изменчивости не выявлены. Совершенно не изученной является проблема построения моделей вылова рыбы в зависимости от определяющих факторов и тем более разработки метода прогнозирования, который крайне важен при планировании рыбного промысла.

Целью диссертационной работы является выявление воздействия различных характеристик термических условий на параметры биопродуктивности вод ЮКМ, построение статистической модели вылова тунца в зависимости от экономических и океанологических факторов и разработка методики долгосрочного прогнозирования вылова тунца.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- выявление особенностей распространения и формирования промыслового запаса тунца в ЮКМ;
- анализ количественных связей влияния различных температурных характеристик на параметры биопродуктивности ЮКМ;
- выявление пространственно-временных закономерностей распределения глубины изотермы 24 °С;
- построение статистической модели годовых значений вылова тунца в зависимости от экономических и океанологических факторов;
- разработка методики долгосрочного прогноза годовых значений вылова тунца.

Материалы и методы.

Основой для выполнения работы послужили:

- Данные по характеристикам биопродуктивности, вылову тунца и экономическим показателям, которые предоставлены Научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства Вьетнама, Департаментом по рыболовству и сохранению биоресурсов Вьетнама и Департаментом общей статистики Вьетнама. Впервые в статистических расчетах используется уникальный временной ряд суммарного вылова тунца вьетнамскими промысловыми судами в ЮКМ за период 2000-2015 гг.

В работе использовались следующие значения температуры воды, которые выбирались из архивов реанализа, находящихся в свободном доступе в сети Интернет:

- среднемесячные данные о поверхностной температуре океана в узлах широтно-долготной сетки $2 \times 2^\circ$ из глобального архива NOAA NCDC ERSST (National Oceanic and Atmospheric Administration National Climatic Data Center Extended Reconstructed Sea Surface Temperature);

- среднемесячные данные о глубоководной температуре в узлах широтно-долготной сетки $0,5 \times 0,5^\circ$ из глобального архива CARTON-GIESE SODA (Simple Ocean Data Assimilation).

Для решения поставленных задач применялся широкий комплекс стандартных методов одномерного и многомерного статистического анализа, содержащихся в современных пакетах прикладных статистических программ (ППСП), в том числе параметрический и непараметрический корреляционный анализ, модели парной и множественной регрессии, факторный анализ, методы интерполяции при построении карт и др [42, 64].

На защиту выносятся следующие положения:

1. пространственно-временные закономерности годовых значений глубины изотермы 24°C , оказывающей доминирующее влияние на распределение и изменчивость характеристик биопродуктивности вод Южно-Китайского моря.
2. статистическая модель межгодовых значений вылова тунца в зависимости от экономических и океанологических факторов.
3. методика долгосрочного прогноза межгодовых значений вылова тунца.

Научная новизна.

- Впервые приводится биолого-промысловое обобщение трех основных вида тунца (желтоперый, большеглазый и полосатый), составляющих промысловый запас Южно-Китайского моря.

- Выполнена оценка влияния 18 различных показателей температуры воды на комплекс из 8 параметров биопродуктивности вод Южно-Китайского моря.

Показано, что максимальная корреляция всех параметров биопродуктивности отмечается для глубины изотермы 24 °С, которая меняется в пределах от -0,70 до -0,94. Второй по значимости является глубина изотермы 20 °С, третьей – температура поверхности моря. Со всеми указанными параметрами корреляция оказывается отрицательной. Это означает, что с углублением изотерм 20 и 24 °С и ростом температуры поверхности моря все характеристики биопродуктивности должны уменьшаться.

- Впервые с помощью факторного анализа выполнено районирование промыслового района ЮКМ по характеру межгодовых колебаний изотермы 24 °С за период 1980-2008 гг. Выделено 5 квазиоднородных районов. Во временном ходе общих факторов отмечаются преимущественно случайные межгодовые колебания. Можно лишь отметить наличие слабого 6-8 летнего цикла, который также проявляется в запасах тунца в Мировом океане.

- Впервые построена статистическая модель межгодовых значений вылова тунца в зависимости от экономических (количество промысловых судов) и океанологических (температура поверхности моря в узлах сеточной области) факторов, которая описывает 95 % дисперсии исходного ряда и имеет малую среднеквадратическую ошибку.

- Впервые предложена методика долгосрочного прогноза годовых значений вылова тунца на основе экстраполяции временного ряда при его аппроксимации полиномиальной моделью и авторегрессионной моделью второго порядка. Проверка результатов на независимых данных за 2015 год показала хорошее соответствие.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость состоит в том, что выявлен вклад экономических и океанологических факторов в статистической модели вылова тунца. Экономический фактор (количество промысловых судов) является основным, на его долю приходится 75 % дисперсии исходного ряда. Выявлена высокая эффективность авторегрессионной модели для прогноза вылова рыбы с заблаговременностью 1 год. Расхождение между фактическими и расчетными

данными за 2015 год составило 1470 т или 2 %. Практическая значимость состоит в том, что полученные результаты будут внедрены в деятельность Министерства сельского хозяйства Вьетнама и будут использоваться при планировании промысла и рациональной эксплуатации тунцовых ресурсов.

Обоснованность и достоверность результатов работы обеспечивается и подтверждается качественной исходной информацией, используемой при моделировании и прогнозировании, грамотным применением современных методов одномерного и многомерного статистического анализа, сравнением получаемых результатов с фактическими данными.

Соответствие паспорту специальности

Результаты работы соответствуют паспорту специальности 25.00.28 «Океанология» по следующим пунктам: П6 – Биологические процессы в океане, их связь с абиотическими факторами среды и хозяйственной деятельностью человека, биопродуктивность районов Мирового океана, П10 – Природные ресурсы океана, их рациональное использование.

Личный вклад автора.

Подготовка исходных данных, проведение статистических расчетов, выполнение необходимых графических построений, обобщение и анализ результатов, подготовка публикаций.

Апробация результатов.

Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной отраслевой научной конференции профессорско-преподавательского состава Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 2013, 2014) и семинаре океанологического факультета РГГМУ (2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 4 в журналах, входящих в Перечень ВАК.

Благодарности.

Автор выражает большую благодарность своим научным руководителям, профессору Петру Ивановичу Бухарицину и профессору Валерию Николаевичу

Малинину за неоценимую помощь в работе и активную всестороннюю поддержку. Также автор искренне благодарит доц., к.г.н. Светлану Михайловну Гордееву за консультации, помощь и ценные советы. Автор благодарен всему преподавательскому составу кафедры промышленной океанологии РГГМУ и кафедры Инженерной экологии и природообустройства за помощь, ценные советы и внимание к работе.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, обзора основных физико-географических и гидрометеорологических характеристик Южно-Китайского моря, описания материала и методов исследования, результатов собственных исследований и их заключения, выводов, списка использованной литературы, включающего 101 источников, из них 35 зарубежных.

Материал изложен на 138 страницах, содержит 12 таблиц, 43 рисунков, 8 приложения.

Глава 1. Физико-географическая и гидрометеорологическая характеристика Южно-Китайского моря

1.1 Физико-географическая характеристика

На западе Тихого океана, вдоль берегов Восточной и Юго-Восточной Азии с одной стороны, и полуостровами Индокитай, Малакка и островами Калимантан, Палаван, Лусон и Тайвань с другой, расположено полузамкнутое Южно-Китайское (или Восточно-Вьетнамское море). Через Тайваньский пролив Южно-Китайское море на севере соединяется с Восточно-Китайским морем. На северо-востоке, через проливы Ваши и Лусон - с Тихим океаном. Сингапурский пролив на юго-западе соединяет Южно-Китайское море с Индийским океаном, а на юге, через проливы Геласа и Каримата - с Яванским морем (рис. 1.1). Море достаточно большое – его площадь составляет 3537 тыс. км², средняя глубина 1024 м, объём воды 3622 тыс. км³[7]. Южно-Китайское море имеет сравнительно слабо изрезанную береговую линию. Бакбо (Тонкинский), Сиамский заливы – наиболее крупные заливы Южно-Китайского моря. Берега преимущественно низкие. Море изобилует крупными и мелкими островами. Наиболее крупные из них – острова Хайнань, Парасельские (Хоангса), Спратли острова (Чыонгса) и др. Вдоль берегов Восточной и Юго-Восточной Азии в Южно-Китайское море впадают крупные реки: Сицзян, Хонгха, Меконг, Менам-Чао-Прая. Западная и южная части Южно-Китайского моря наиболее мелководны. Здесь простирается широкая материковая отмель – т.н. Зондский шельф, с глубинами 30-80 м, у края отмели - более 150 м. Северо-восточная часть моря представляет собой глубоководную котловину с глубинами до 4000 м, максимальная глубина – 5560 м. Для всей акватории Южно-Китайского моря характерны подводные землетрясения и вулканические извержения. Грунт на мелководьях – песчанистый ил, местами камень, галька, на больших глубинах - ил.

Климат тропический, в южной части Южно-Китайского моря экваториальный, муссонный. Зимой преобладают ветры северо-восточных, летом южных и юго-западных направлений. В зимние месяцы средняя температура воздуха от 15 °С на севере моря до 25 °С на юге, в летние месяцы она повсеместно

держится на отметках 27-28 °С. Осадков в среднем выпадает 2000-2500 мм в год. Тайфуны в Южно-Китайском море бывают во все времена года, однако летом и осенью они особенно часты. Направление и скорость течений напрямую зависит от сезона. Так, зимой, в западной части моря ярко выражено южное течение, летом – северное. В восточной же части моря течения слабые и неустойчивые. Средняя скорость течений, как правило, не превышает 1 км/ч. Зимой средняя температура воды у поверхности колеблется от 20 °С на севере до 27 °С на юге моря, в Сиамском заливе более 28 °С, а в летние месяцы может повышаться до 28-29 °С. Солёность морской воды также зависит от сезона: зимой она составляет 31,5-34,0 ‰, летом солёность несколько меньше – 31,0-33,0 ‰ [7, 14]. На глубинах 2000 м и более температура и солёность воды практически постоянны: температура воды равна 2,3 °С и солёность – 34,63 ‰. Приливы повсеместно суточные и смешанные, величиной до 5,9 м, причем их величина существенно зависит от конфигурации берегов.

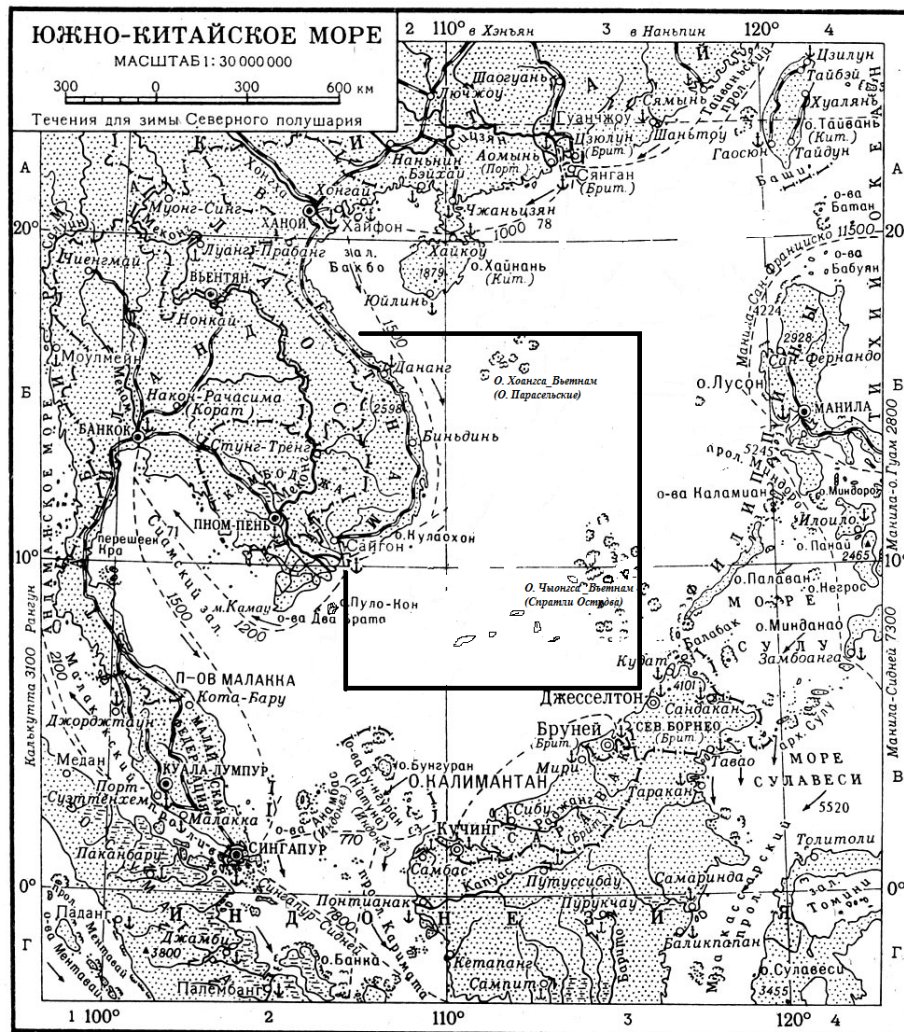


Рис. 1.1. Карта Южно-Китайского моря [19]. Прямоугольником выделен район, где ведут промысел вьетнамские суда.

Наиболее мелководной частью Южно-Китайского моря является Сиамский залив. Он занимает довольно обширную площадь – 462 тыс. км², а его средняя глубина составляет 45,5 м. Большой мелководностью и более сглаженным подводным рельефом отличается его восточная часть. По сравнению с восточной, в западной части Сиамского залива глубины несколько больше. Максимальная глубина центральной впадины этой части залива составляет 83 м, а его берега скалистые и крутые. Сиамский залив по границе с Южно-Китайским морем имеет ширину около 370 км, однако основной водообмен между заливом и Южно-Китайским морем происходит по желобу шириной всего лишь 56 км. В Сиамский залив впадают несколько рек, самой большой из которых является река Менам.

Залив представляет собой двухслойный мелководный эстуарий. В поверхностном слое – направленный в море поток малосоленых вод, распресненных атмосферными осадками и речным стоком. Средняя соленость поверхностных вод колеблется от 30,5—32,5 ‰ зимой до 31,0—32 ‰ летом. Встречный поток вод из Южно-Китайского моря проходит по дну желоба. Эти воды имеют значительно более высокую соленость – выше 34,0 ‰, и относительно низкую температуру — ниже 27,0 °С.

Восточная часть Южно-Китайского моря более глубоководная. Пролив Лусон, соединяющий Южно-Китайское море с Тихим океаном, имеет глубины до 2000 м. У Филиппинских островов изобата 200 м проходит в 2 милях от берега, а рядом встречаются глубины до 3000 м. Прибрежное мелководье у западного берега острова Лусон, ширина которого не превышает 10 миль и глубины также не превышают 200 м, резко обрывается в 15-30 милях от берега, и глубина моря увеличивается до 2000 м. К северо-западу и западу от острова Борнео глубины постепенно уменьшаются по направлению к берегу [22, 23].

Такие же существенные отличия характерны и для Центральной части Южно-Китайского моря. По характеру рельефа дна она делится на две, резко отличающиеся друг от друга части – мелководную южную и глубоководную северную. Граница между ними проходит по параллели 6° с.ш. Для южной части, находящейся в пределах материковой отмели, характерны небольшие глубины – 50-100 м. Глубоководная северная часть простирается на северо-восток до Филиппинских островов и острова Тайвань. В этой части моря значительно большие глубины – 2000-4000 м и более. Максимальная глубина равна 5016 м. В южной части глубоководного района расположен малоисследованный и опасный для плавания район с многочисленными подводными банками и скалами. От островов Калимантан и Палаван этот район отделен узким проходом (желобом) Палаван, вытянутым в северо-восточном направлении с максимальной глубиной 3475 м [7, 34, 35, 36, 37].

На севере Южно-Китайское море доходит до тропика Рака, на юге оно заходит за экватор в южное полушарие, чем объясняются существенные

климатические различия разных ее частей. В целом, климат моря тропический, муссонный. Вместе с тем, выделяются три основных климатических района моря:

Южная часть моря – южнее 5° с.ш., находится в экваториальной зоне жаркого и влажного климата, со слабыми и неустойчивыми ветрами. Здесь сезонные колебания температуры и влажности меньше суточных, а количество осадков превышает величину испарения.

Средняя и восточная части Южно-Китайского моря находятся к зоне субэкваториального и менее влажного климата, в зоне экваториально-тропических муссонов. Для летних месяцев здесь характерны экваториальные воздушные массы и связанный с ним ветер от экватора, зимой, наоборот – тропические воздушные массы и направленный к экватору ветер. В связи с этим наблюдается и сезонный ход температуры воздуха – зимой заметно холоднее чем летом. Скорость ветра в зимние месяцы больше, чем в летние.

Северо-западная часть моря относится к субэкваториальной зоне, где зимой температура существенно ниже летней. В этой части Южно-Китайского моря осадков выпадает меньше, а сезонные изменения температуры максимальны.

1.2. Климатологическая характеристика

Температура воздуха. Из таблицы 1.1. видно, что средняя годовая температура воздуха у поверхности моря колеблется от $26,5$ до $27,5$ $^{\circ}\text{C}$. При смене сезонов она значительно меняется, и еще более усиливается муссонными явлениями. Величина годовых колебаний среднемесячных температур (разность средних температур воздуха самого теплого и самого холодного месяцев) на севере равна $10-12$ $^{\circ}\text{C}$, на юге - лишь 2 $^{\circ}\text{C}$ [7].

Зимой, средняя температура воздуха в январе на севере моря равна 19 $^{\circ}\text{C}$, в центральных районах составляет 26 $^{\circ}\text{C}$, на юге температура достигает 26 $^{\circ}\text{C}$ и выше. У Парасельских островов отмечена самая низкая средняя зимняя температура воздуха – 12 $^{\circ}\text{C}$.

Летние месяцы (май-август) являются самыми жаркими. Средняя температура воздуха составляет 29,0 °С, самая высокая измеренная температура равна 38,0 °С. Амплитуда колебаний средней температуры воздуха в эти месяцы для этого района составляет от 5 до 7 °С, причем в юго-восточной части региона она минимальна. В прибрежных же зонах амплитуда средней температуры воздуха может достигать 8 °С и более.

В целом, в зимние месяцы в регионе наблюдается тенденция к увеличению средней температуры воздуха с северо - запада на юго - восток с градиентом равным примерно 1 °С на 1° широты. Летом температура воздуха почти везде одинакова из-за влияния горячего воздуха с материка.

Таблица 1.1

Внутригодовая изменчивость температуры воздуха Южно-Китайского моря [7]

Месяц	Север	Центр	Юг
Январь	19	26	более 26
Февраль	16	26	26
март	20	26	28
Апрель	22	28	28
Май	24	более 28	более 28 (мак. 35)
Июнь	28	более 28	более 28 (мак. 35)
Июль	более 28	более 28	более 28 (мак. 35)
Август	более 28	более 28	более 28 (мак. 35)
сентябрь	28	более 28	более 28 (мак. 35)
Октябрь	25 (мин. 20)	28	28
Ноябрь	23 (мин. 16)	24-26	28
Декабрь	19 (мин. 14)	24-25	27

Облачность, осадки, испарение и влажность. Средняя за январь-февраль облачность составляет 5-6 баллов, за март-июнь – 5, июль-сентябрь – 6 и октябрь-ноябрь 5-6 баллов. Ясное, безоблачное небо (при незначительной облачности – 0-3

балла), наиболее часто над Южно-Китайским морем наблюдается в зимние и весенние месяцы – 20-40%, и в ноябре – 20% [7]. Минимальное же количество ясных дней – 10%, бывает в августе, что связано с преобладанием в регионе экваториальных воздушных масс.

Количество выпадающих над Южно-Китайским морем осадков в целом невелико, оно постепенно увеличивается с северо-запада – 1500-2000 мм/год, к юго-востоку моря до 2500 мм/год. В зимние и весенние месяцы повторяемость осадков, в % от числа наблюдений за погодой, невелика – около 5%, в летние и осенние она чуть выше – около 10%.

В целом за год величина испарения над Южно-Китайским морем в среднем составляет примерно 1000 мм/год. Причем, повсеместно количество выпавших осадков преобладает над количеством испарившейся с поверхности моря воды, а их разность (осадки-испарение) на севере равна 500-1000 мм/год, на юге – около 1500 мм/год.

Туманы над Южно-Китайским морем редки, и не превышают 1% времени. Преобладающая хорошая видимость (более 5 миль), наблюдается в более чем 90% случаев.

Абсолютная влажность воздуха у поверхности моря в течение года изменяется незначительно, а относительная – в течение всего года близка к 80%, и лишь в летние месяцы она несколько выше.

Поле ветра. Над Южно-Китайском морем поле ветра в основном зависит от движения и мощного преобразования тропической экваториальной полосы, и от характеристики муссонов. На картах распределения полей среднего ветра для зимы и лета над морем, можно выделить характерные особенности (рис. 1.2). В зависимости от сезона, направление ветра меняется на обратное. В зимний сезон наибольшая интенсивность поверхностных ветров происходит в основном в полосе конвергенции тропической зоны со сдвигом в южное полушарие, и в море, от его северного побережья. В летний сезон полоса конвергенции тропической зоны расположена в северной половине моря, ветер имеет большую интенсивность, но

наблюдается только в пелагической части моря (средняя часть Южно-Китайского моря).

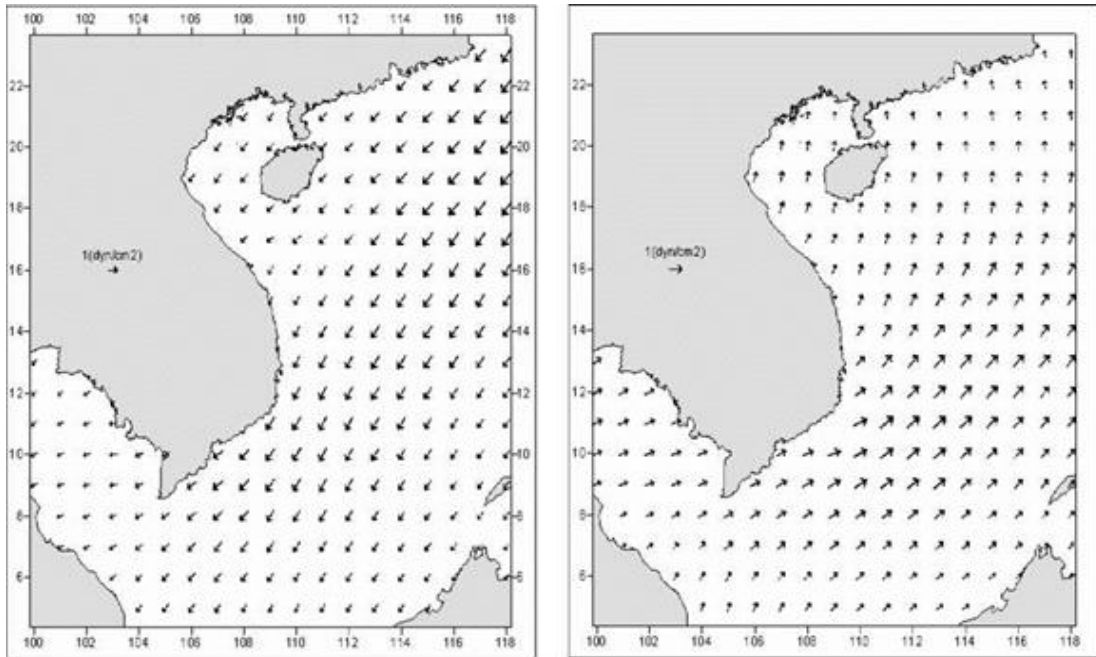


Рис. 1.2. Карты полей напряжения среднего ветра в январе (слева) и июле (справа) в Южно-Китайском море [88]

Таким образом, поле ветра в Южно-Китайском море зависит от колебаний распределения давления. Однако, на основные характеристики поля ветра, также оказывают влияние особенности рельефа и береговой линии. Северо-восточный ветер преобладает в регионе во время зимнего сезона муссона (рис. 1.2), но в связи с воздействием рельефа, наблюдаются значительные изменения в направлении ветра. Метеостанции на западном побережье часто фиксируют ветер северного и северо-северо-западного направления. На южном побережье моря, и в заливе Таиланда, направление ветра переходит на восток-северо-восток и восток. По наблюдениям, скорость ветра здесь также значительно снижается в направлении от моря к берегу и в Сиамском заливе. Распределение ветрового поля по сезонам имеет разные знаки. В зимний сезон, наличие турбулентности с большими положительными значениями в центральной части моря является причиной циклонической циркуляции морской воды. В летний сезон турбулентность имеет напряжение положительного значения со сдвигом к побережью центральной и южной части моря. В южной и юго-восточной части Южно-Китайского моря имеет

напряжение ветра с отрицательным значением (рис. 1.3). При этом создаются зоны дивергенции и конвергенции, а также повышение активности прибрежного апвеллинга, в том числе в центральной и южной частях моря.

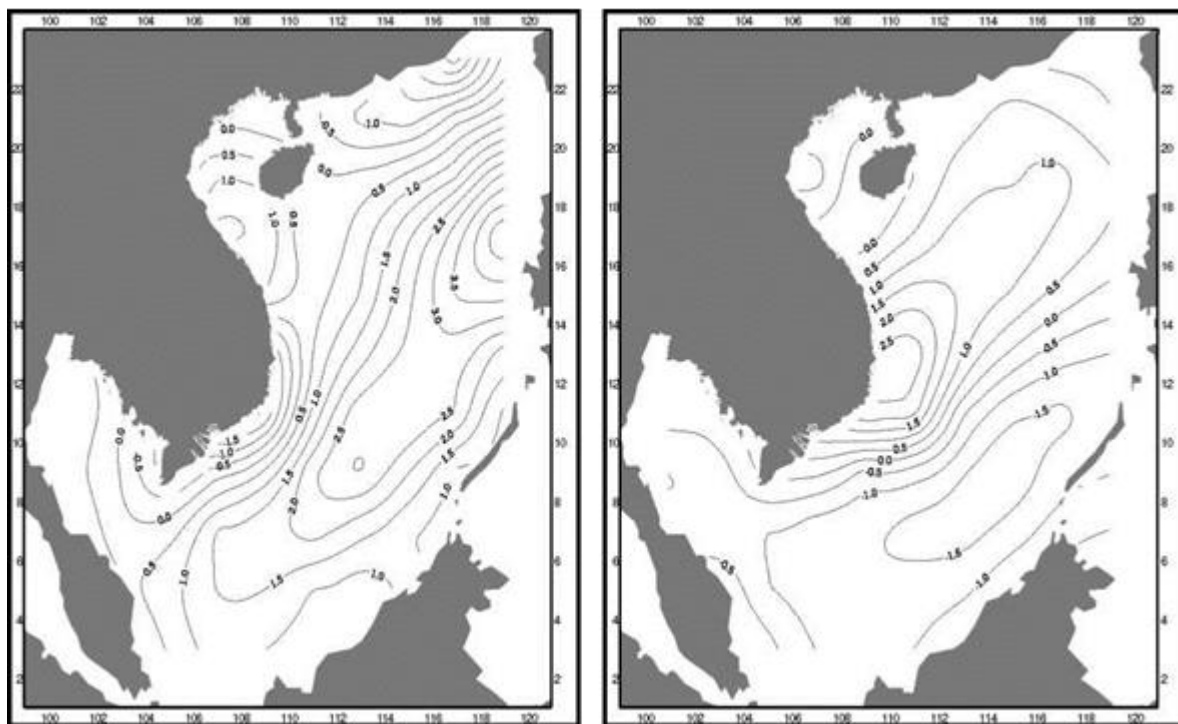


Рис. 1.3. Расчетные поля ветра над поверхностью моря в январе (слева) и июля (справа) [88]

Атмосферное давление. Поле атмосферного давления над поверхностью Южно-Китайского моря, непосредственно зависит от изменений в глобальном процессе распределения основных метеорологических характеристик (температуры, влажности, давления), которые формируются в результате взаимодействия системы океан-атмосфера-континент. На формирование поля атмосферного давления в Южно-Китайском море оказывает непосредственное и сильное влияние важный тропический воздух экваториальных широт с низким атмосферным давлением, который проходит через субтропическую область высокого давления на севере и высокое давление на юге Индийского океана. Из-за активного взаимодействия между океаном, атмосферой и континентом, атмосферное давление имеет значительную дифференциацию и большие колебания по сезонам года, в которых смещение тропических экваториальных масс

происходит с севера на юг. В зависимости от сезона, в атмосфере северного полушария может возникать ряд центров высокого давления над океаном и континентом в зимний период, или образуются центры низкого давления над континентом и центры высокого давления над океаном в летнее время (рис. 1.4). Сфера перемещения зон низкого давления, соответствующая тропическим полосам конвергенции занимает определенную область: от 20° ю.ш. в зимний сезон до 40° с.ш. в летнее время.

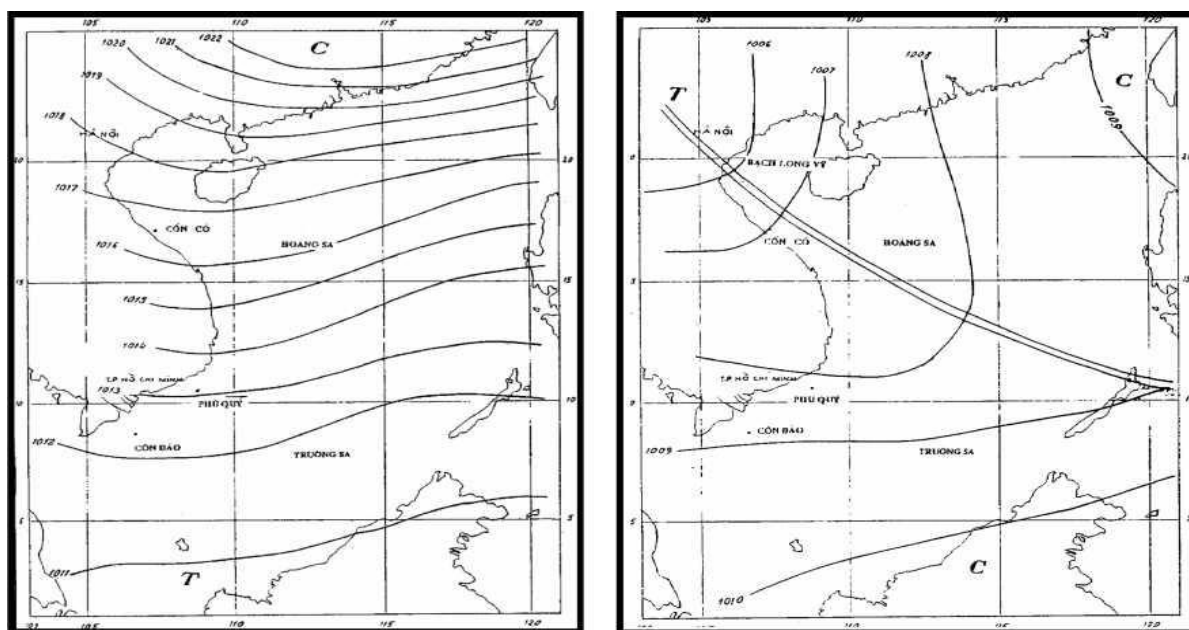


Рис. 1.4. Карта поля среднего давления в январе (слева) и в июле (справа) в Южно-Китайском море [88]

Ветровое волнение. В Южно-Китайском море ветровое волнение формируется под воздействием муссонных ветров.

Ветры зимнего муссона обладают большой устойчивостью и силой, что приводит к развитию штормового волнения и зыби. В северной части моря волнение более сильное, чем в южной. Повторяемость ветрового волнения силой 5 баллов и более здесь составляет 24%, сильная зыбь наблюдается в 10% времени, около 50% – зыбь умеренная и в 40% времени – слабая или полное ее отсутствие [58]. В остальных районах Южно-Китайского моря, сильная зыбь наблюдается значительно реже (не более 5% времени), умеренная – 25%, а в 70% времени –

слабая зыбь или штиль. Ветры летнего муссона слабые и неустойчивые. В связи с этим в северной части моря довольно редко (от 5 до 32% времени) наблюдается сильная или умеренная зыбь. В других же районах моря сильная зыбь встречается исключительно редко, но преобладает умеренная (около 80% времени). Восточная половина моря более спокойна, кроме района пролива Лусон, куда заходят океанская зыбь и волны.

В период смены муссонов высота волн в Южно-Китайском море может достигать 3,5 м, а длина волн – 70-100 м (табл. 1.2) [58].

Таблица 1.2

Характеристики ветрового волнения в переходный период от зимнего муссона к летнему по данным [7, 58]

Координаты		Направление и скорость ветра, м/сек	Наибольшая разность волновых уровней, м	Наибольшая высота волн, м	Средняя высота волн, м	Наибольшая длина волн, м
с.ш.	в.д.					
13°53'	113°53'	93° - 12	4,33	2,89	2,34	100
13°54'	114°08'	94° - 10,5	5,02	3,29	1,42	84
13°56'	114°09'	94° - 10,4	4,17	2,58	1,85	73
15°10'	114°44'	97° - 11,0	3,09	2,43	1,44	70
15°27'	115°15'	98° - 10,0	2,78	1,87	1,44	67
15°33'	115°23'	107° - 5,5	3,54	1,9	-	87

Муссонные ветры создают волны достигающие размеров океанских волн. Во время зимнего муссона их высота может достигать 7 метров при длине волны – 175 м. Скорость ветра при этом сравнительно велика, и обычно не превышает 12 м/сек.

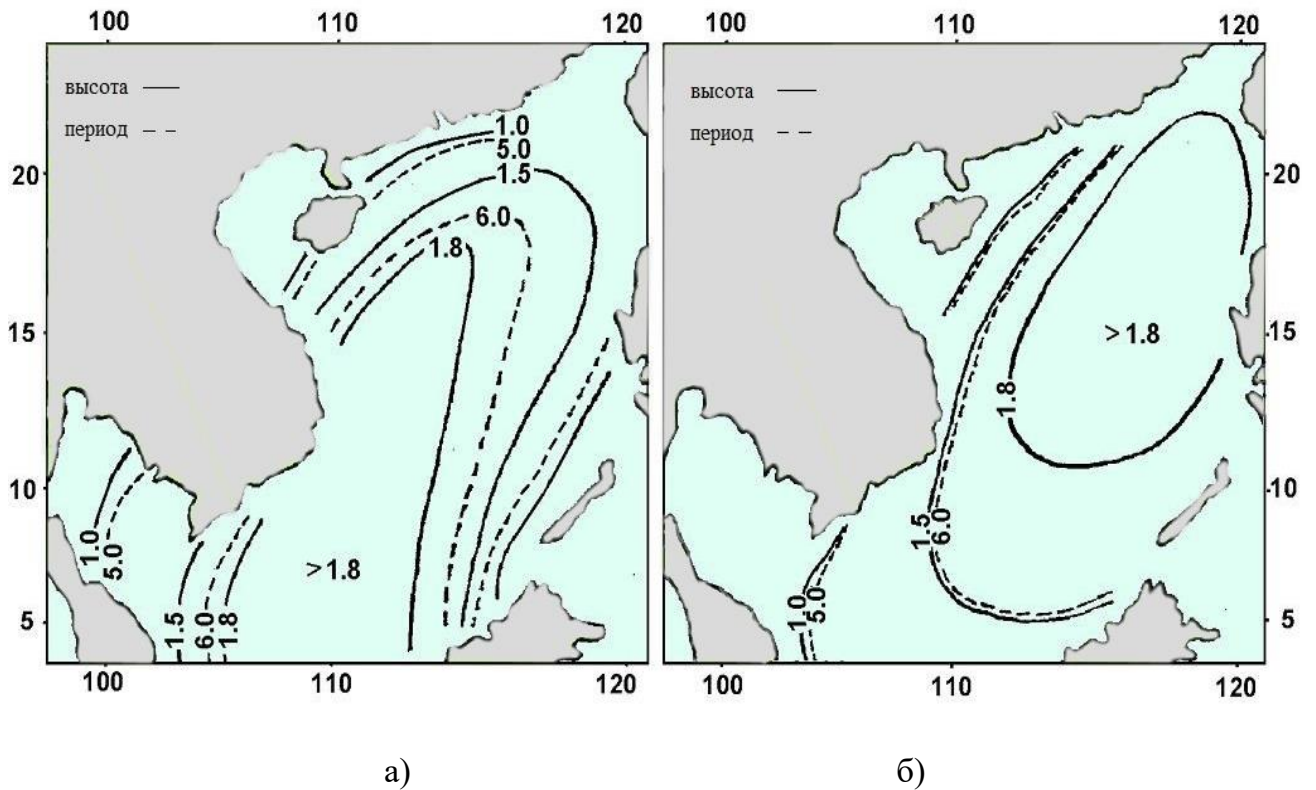


Рис. 1.5. Распределение высот и периодов ветровых волн в Южно-Китайском море зимой (а) и летом (б) при средней скорости ветра 10 м/сек [7, 21]

На рис. 1.5 (а,б) показано распределение высот и периодов ветровых волн зимой и летом при средней скорости ветра 10 м/сек.

1.3. Гидрологическая характеристика моря

Температура и соленость. Климатические условия Южно-Китайского моря способствуют значительному прогреву поверхностных слоев и накоплению в толще воды большого количества тепла. Превышение количества атмосферных осадков над величиной испарения с поверхности моря приводит к уменьшению солености в поверхностном слое моря.

В летние месяцы средняя температура воды Южно-Китайского моря от экватора до 20° с.ш. колеблется составляет примерно 29°C, и лишь немного снижается (до 27°C) в северной части моря.

Зимой температура поверхностных вод более разнообразна. На востоке моря вода теплее, чем на западе. Температура воды на поверхности моря в феврале-

январе понижается до $26,5^{\circ}\text{C}$ на параллели 20° с.ш. в восточной части, и до $18,6^{\circ}\text{C}$ - в западной части моря (рис. 1.6 а,б).

Наиболее соленая вода в северной части Южно-Китайского моря – $34,0\text{‰}$ с небольшими годовыми колебаниями. В период зимних муссонов, в результате интенсивного испарения, в поверхностном слое 0-70 м, соленость увеличивается на $0,3\text{‰}$. В дождливый летний сезон соленость вод в однородном поверхностном слое 0-40 м уменьшается на $0,7\text{‰}$ [58].

В центральной части Южно-Китайского моря, в результате интенсивного водообмена и перемешивания, благодаря противотечениям, вода с меньшей соленостью в период зимнего муссона перемещается с юга на север, а период летнего муссона вода с большей соленостью перемещается, наоборот, с севера на юг. В результате, в этой части моря соленость в течение всего года колеблется в небольших пределах – $33,2\text{‰}$ - $33,6\text{‰}$. Южная же часть Южно-Китайского моря подвержена влиянию двух дождливых сезонов: весеннего и осеннего. Атмосферные осадки сильно опресняют воду в поверхностном слое, и соленость здесь составляет $32,0\text{‰}$ - $32,5\text{‰}$. В прибрежных районах, благодаря влиянию материкового стока, соленость еще ниже – $30,5\text{‰}$ - $31,0\text{‰}$. Так, например, в районе впадения реки Меконг, годовые колебания солености превышают $2,0\text{‰}$, в Сиамском заливе – $1,3\text{‰}$ (рис. 1.7) [58].

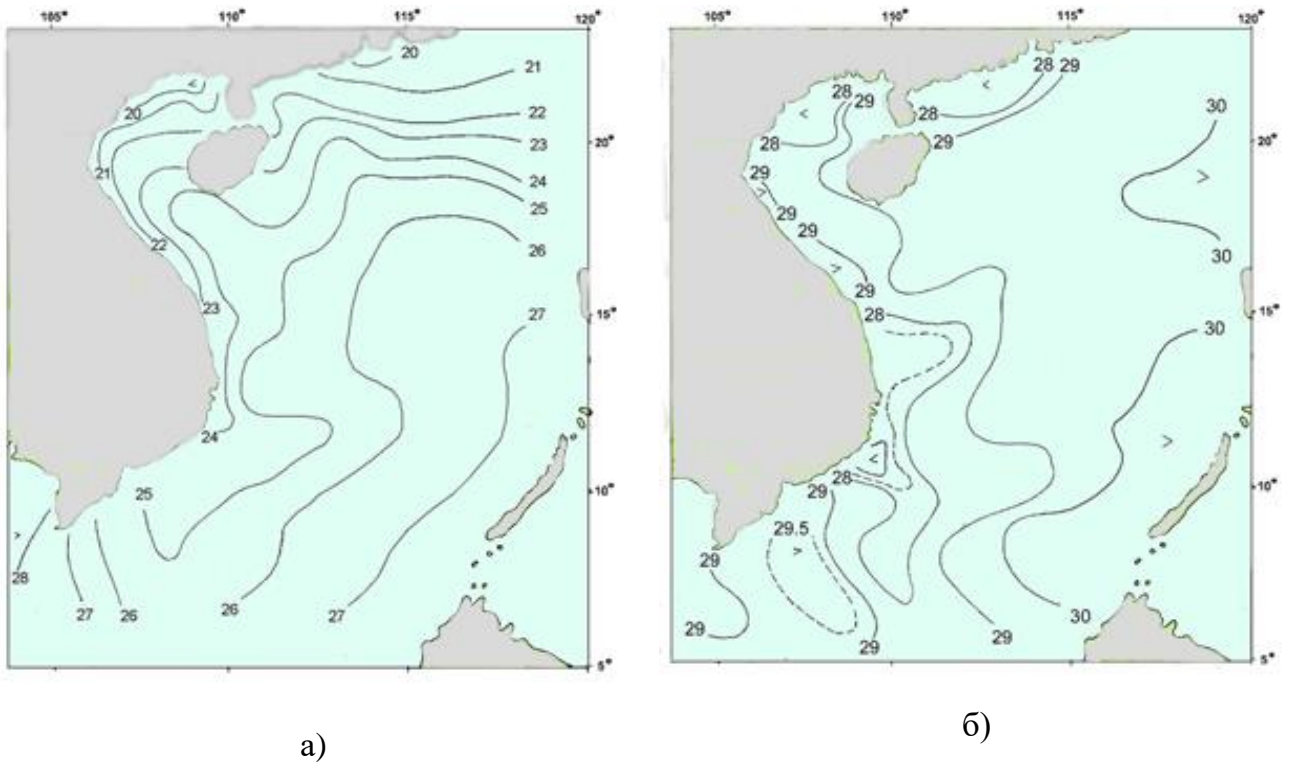


Рис. 1.6. Распределение температуры на поверхности. а) - зима; б) – лето [7, 14].

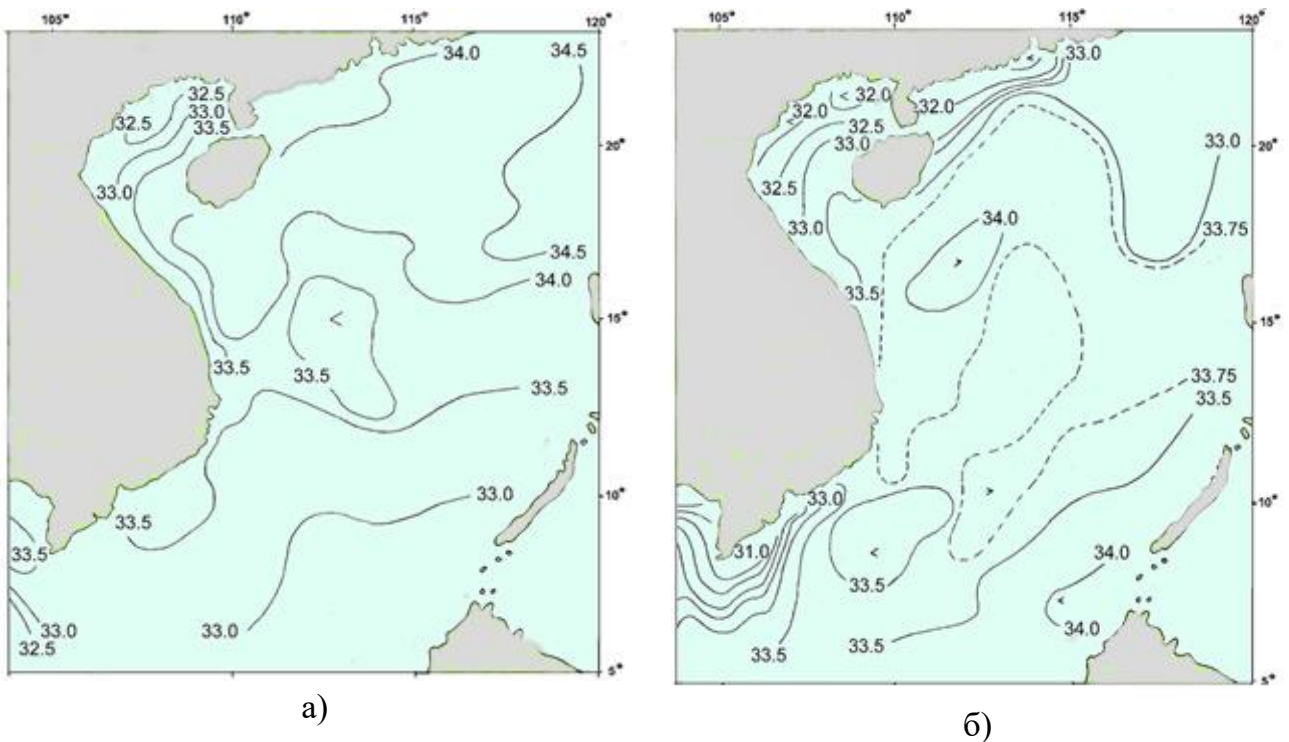


Рис. 1.7. Распределение солености на поверхности. а) - зима; б) – лето [7, 14]

Водные массы. В Южно-Китайском море существует три основных типа вертикальной термогалинной структуры вод: тропическая; трансформированная тропическая; экваториально-тропическая. Каждый тип представляет собой

четырёхслойную структуру, состоящую из поверхностного слоя, подповерхностного слоя повышенной солености, промежуточного слоя пониженной солености и глубинного слоя (табл.1.3) [7, 15, 16, 33-38].

Таблица 1.3.

Термогалинная структура вод Южно-Китайского моря[7, 15, 16, 33-38]

Водные массы	Зима			Весна (переходный период)			Лето		
	Т, °С	S, ‰	глубина, м	Т, °С	S, ‰	глубина, м	Т, °С	S, ‰	глубина, м
Тропическая									
Поверхностная	24-25	34.2	0-70	26-27	33.8	0-50	29	34	0-30
Подповерхностная повышенная солености	17	max 34.8	100-300 ядро 150	18	max 34.7	75 - 200, ядро 100	25	max 34.70	50-250 ядро 75
Промежуточная по нижней солености	9	min 34.55	300-800, ядро 450	10	min 34.4 0	200-800, ядро 450	8	min 34.4	300-800, ядро 500
Глубинная	3	34.7	более 800	4	34.6	более 800	5	34.6	более 800
Трансформированная тропическая									
Поверхностная	25-26	33.5	0-30	28	33.6	0-30	30	33.5	
Подповерхностная повышенная солености	17	max 34.6	50-200 ядро 140	18	34.6	50-200, ядро 100	Практически исчезают экстремумы водных масс		

Промежуточная по нижней солености	9	min 34.5	200-1000, ядро 500	10	min 34.4 0	200-1000, ядро 500			
Глубинная	3	34.6	более 1000	4-5	34.6	более 1000	4-5	34,9	
Экваториально-тропическая									
Поверхностная	26- 27	34	0-65	27- 28	33.6	0-30	30	34	0-30
Подповерхностная повышенной солености	17	max 34.75	100-300, ядро 150	18	max 34.6 5	75-250, ядро 150	25- 26	max 34.8	75-200, ядро 100
Промежуточная по нижней солености	9	min 34.52	300-800, ядро 500	10	min 34.4 0	250-800, ядро 450	8	min 34.7	250-800, ядро 500
Глубинная	3	34.6	более 800	4-5	34.6	более 800	4-5	34,9	более 800

Тропическая, трансформированная тропическая и экваториально-тропическая структуры вод формируются в процессе водообмена через морские проливы, а также в результате трансформации вод. Распространение каждой разновидности по акватории моря в значительной степени определяется режимом муссонных ветров и циркуляцией вод.

На рис. 1.8. изображены характерные T.S-кривые для трех типов вод в зимний период (• - тропическая структура вод (Т), ▲- трансформированная тропическая (тТ), x - экваториально-тропическая (Э-Т)) [7, 15].

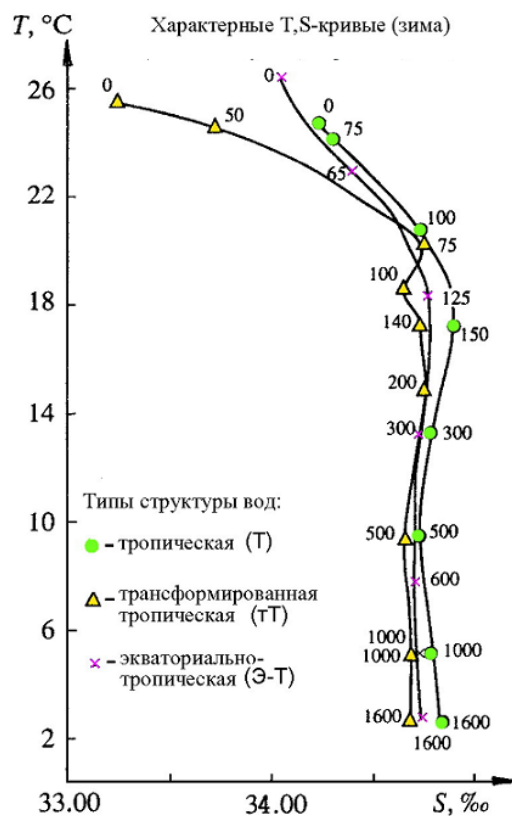


Рис. 1.8. Характерные T.S-кривые [7, 15]

С наступлением весны зимний муссон ослабевает и прекращается. Прогрев суши приводит к формированию летнего типа атмосферной циркуляции и установлению юго-западных муссонных ветров. При этом происходит увеличение водообмена через мелководные южные проливы Южно-Китайского моря с экваториальными водами Яванского моря, уменьшается площадь распространения вод тропической структуры в северной части акватории, изменяются и характеристики водных масс. Уменьшается толщина верхнего однородного слоя на всей акватории моря. Заметно увеличивается температура поверхностной водной массы – на 1-2°C для тропической и трансформированной тропической структур, и на 2-3°C – экваториально-тропической. Весной, в связи с ослаблением зимнего ветрового перемешивания, снижается соленость вод трансформированной тропической структуры солености по сравнению с зимним сезоном, на глубинах более 800 м изменений не наблюдается.

Летом усиление юго-западных муссонных ветров приводит к максимальному развитию водообмена через мелководные южные проливы, формирующему

экваториально-тропическую структуру вод в юго-восточной части Южно-Китайского моря. На поверхности отмечаются высокие значения температуры – выше 30°C и сравнительно низкая соленость – 32,0-33,5 ‰. Термогалинные характеристики нижележащих слоев менее контрастны. Усиливается подъем вод вблизи побережья. Зона апвеллинга характеризуется не только низкой температурой, но и повышенной соленостью – 34.0-34.2 ‰. Происходит значительное распреснение поверхностных вод в западной части Южно-Китайского моря в связи с сезоном летних дождей. Они формируют водные массы летней трансформированной тропической структуры. Формирование летней трансформированной структуры вод происходит также при участии шельфовых гомогенизированных вод, которые образуются на зондском шельфе в зимний сезон. С развитием юго-восточного муссона эти воды проникают в юго-западную и центральную части моря. Исчезают экстремумы водных масс, вертикальное распределение солености становится монотонным – от 33.30-34.00 ‰, на поверхности, до 34.40-34.70 ‰ на глубинах 100 м и более. В летний период значительно уменьшается, т.к. со сменой муссонных ветров уменьшается водообмен через проливы.

Осенний период – переходный. В октябре наблюдается усиление северо-восточных муссонных ветров со средней скоростью на севере моря – до 8 м/с, на юге – до 5 м/с. Уменьшается водообмен через южные проливы и значительно возрастает через северные. При этом область распространения тропической структуры вод увеличивается, происходит перестройка по зимнему типу.

Сезонная изменчивость характеристик вод поверхностных и промежуточных слоев, а также области распространения типов структур вод по акватории показаны на рис.1.9. [15]. Термогалинные характеристики глубинных вод практически неизменны. Их происхождение связано с глубинными водами Филиппинского моря.

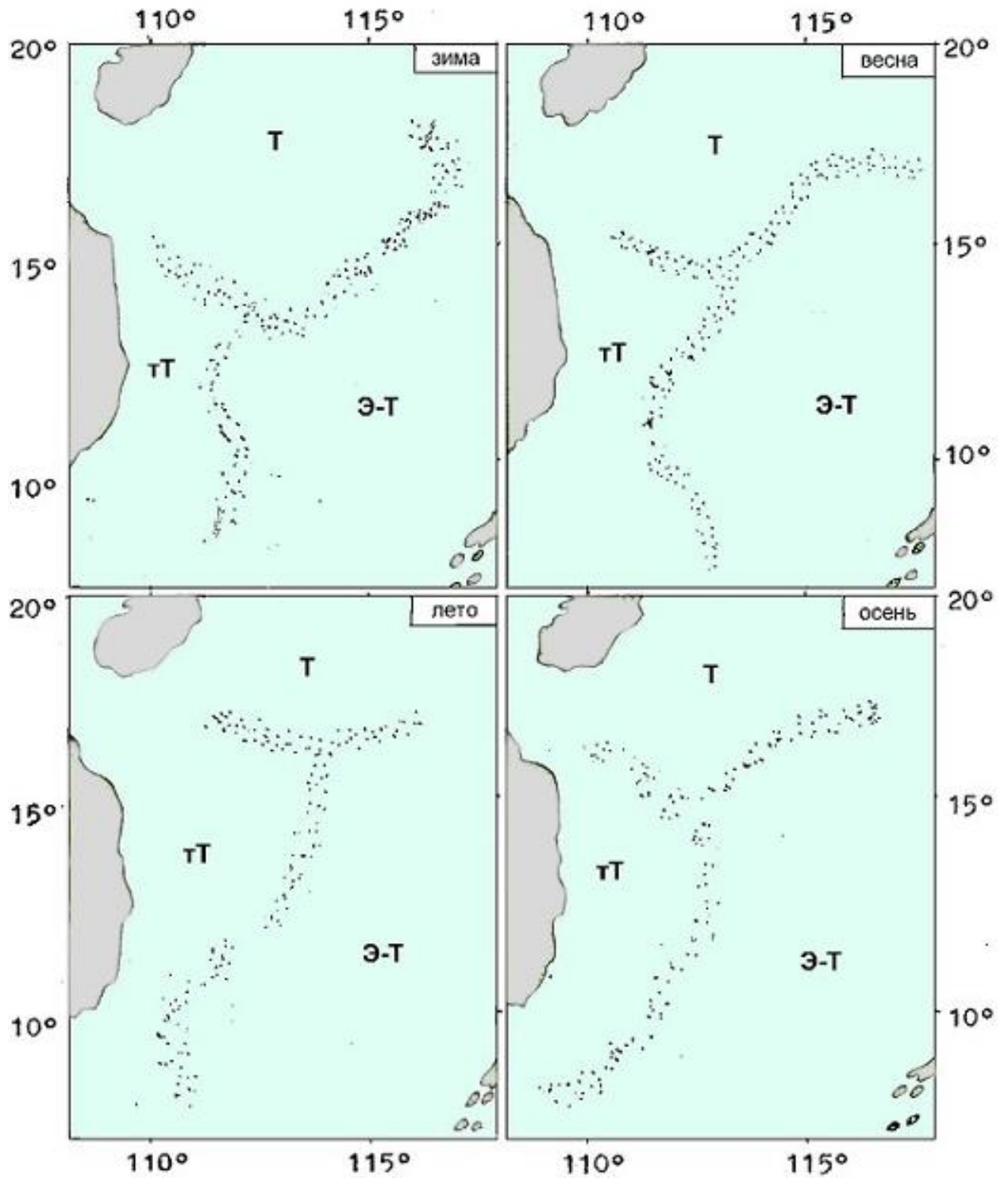


Рис.1.9. Зоны распространения различных типов структуры вод [7, 15]

Колебания уровня и приливные явления .

На колебания уровня в Южно-Китайском море оказывают влияние гидрометеорологические и космические факторы:

Гидрометеорологические – изменения физических характеристик воды (температура, соленость); причины, влияющие на количество воды в море (атмосферные осадки, испарение, материковый сток); явления, приводящие к перераспределению водных масс внутри моря (атмосферное давление, ветер).

Космические – обусловленные непосредственным воздействием приливообразующих сил Луны и Солнца.

Колебания уровня воды в Южно-Китайском море, вызываемые гидрометеорологическими факторами определяются главным образом ветровыми сгонно-нагонными явлениями. В связи с переносом водных масс муссонными течениями, в море устанавливаются устойчивые сгонно-нагонные процессы, меняющие свое направление на 180° в зависимости от сезона. Зимой нагон воды в южную часть моря из северной достигает наибольшей величины – 18 см. На побережье Азиатского континента и на Суматре отмечается наибольший подъем уровня, а низкие значения уровня приходятся на восточную часть моря. Летом в Южно-Китайском море особенно большие величины годовых колебаний уровня, вызванные гидрометеорологическими факторами, отмечаются в проливе Каримата – 81 см., в Сингапуре – 78 см. и в Сайгоне – 50 см. В июне-августе на азиатском берегу и Суматре отмечается наименьший уровень. В это время нагонное течение направлено к северу, и в северной и восточной частях, отмечается подъем уровня. Средняя величина годовых колебаний уровня моря имеет тенденцию к увеличению с севера-востока на юго-запад. Характеристики сезонных колебаний уровня в различных пунктах сильно отличаются друг от друга. Разность между наибольшими и наименьшими средними месячными значениями в прибрежных районах меняется от 14,6 до 81 см. В центральной части моря величина сезонных колебаний составляет 30-35 см.

Годовые колебания температуры и солености поверхностных вод в Южно-Китайском море столь малы, что не могут вызывать значительные по величине колебания уровня. Влияние атмосферных осадков и материкового стока заметно лишь в ограниченных районах устьев рек. Влияние атмосферного давления на

колебания уровня моря также не имеет столь важного значения, как в других районах Мирового океана [58].

Время наступления максимума и минимума уровня в пунктах, расположенных на западном берегу моря, находятся в обратной зависимости по сравнению с пунктами на восточном берегу. Величина сезонных колебаний уровня показана на рис. 1.10.

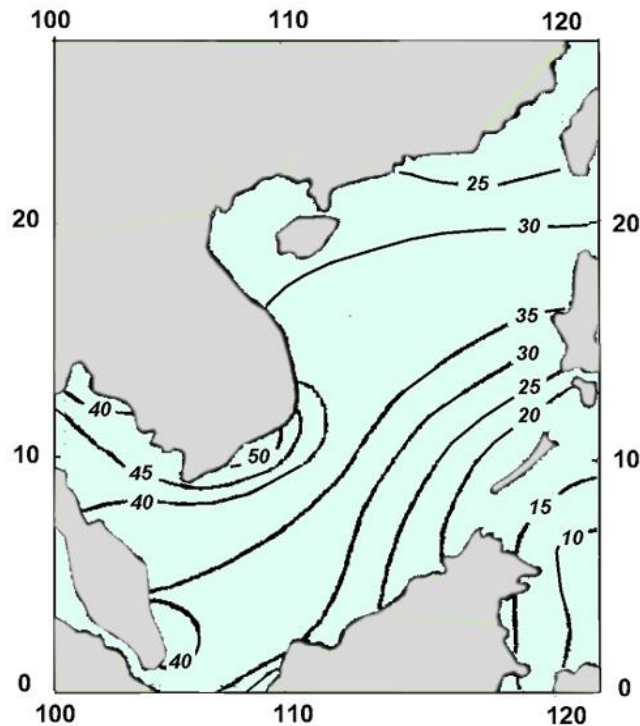


Рис. 1.10. Величина сезонных колебаний уровня в Южно-Китайском море [7, 21]

Влияние приливных колебаний на величину суммарных колебаний уровня Южно-Китайского моря сравнительно невелико. Расчетная величина статического астрономического прилива моря составляет около 14 см. Приливные волны входят на акваторию Южно-Китайского моря с трех направлений: с востока – из Тихого океана, через глубоководный пролив Лусон; с севера – из Восточно-Китайского моря, через Тайваньский пролив; и с юга – из Яванского моря через проливы Каримата, Гаспар и Банка. Происходит интерференция приливных волн, на которые накладываются незначительные собственные приливные колебания этой части акватории моря, обусловленные непосредственным воздействием приливообразующих сил Луны и Солнца, а также влияние резких перепадов

рельефа дна и изрезанная конфигурация берегов, которая еще более усложняет картину приливных волн.

Приливные колебания уровня воды в северной и центральной частях Южно-Китайского моря имеют поступательный характер, в южной части – наблюдаются стоячие колебания (сейши). Карты главных составляющих волн прилива: полусуточных M_2 , S_2 и суточных - K_1 , O_1 приведены на рис. 1.11-1.14 [10, 12].

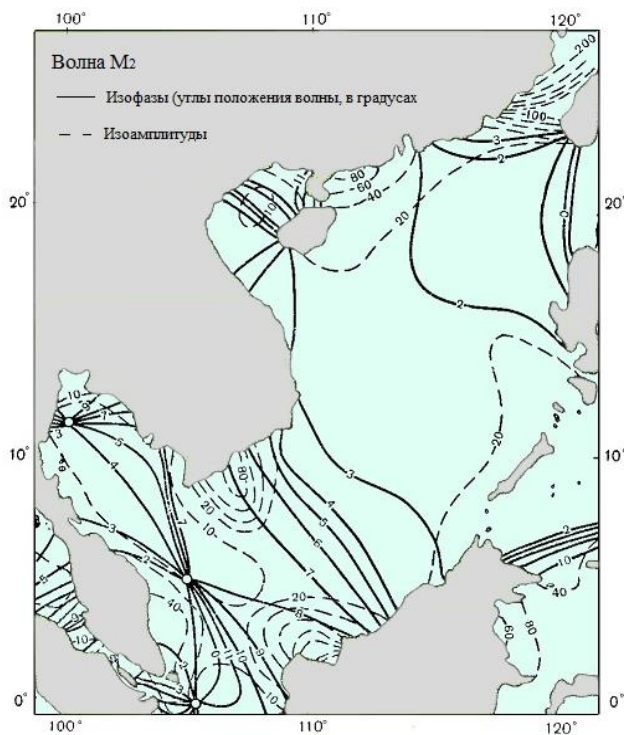


Рис. 1.11. Распространение волн полусуточных приливов M_2 [7, 12]

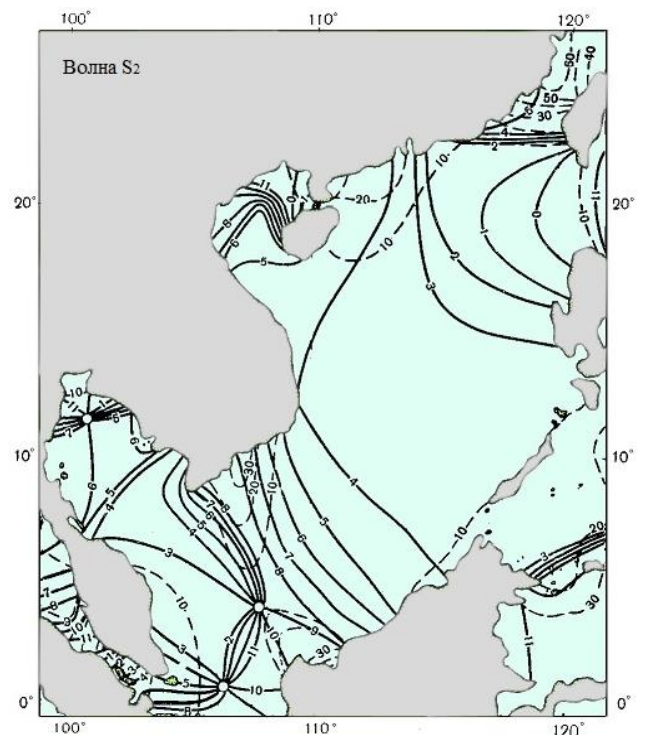


Рис. 1.12. Распространение волн полусуточных приливов S_2 [7, 12]

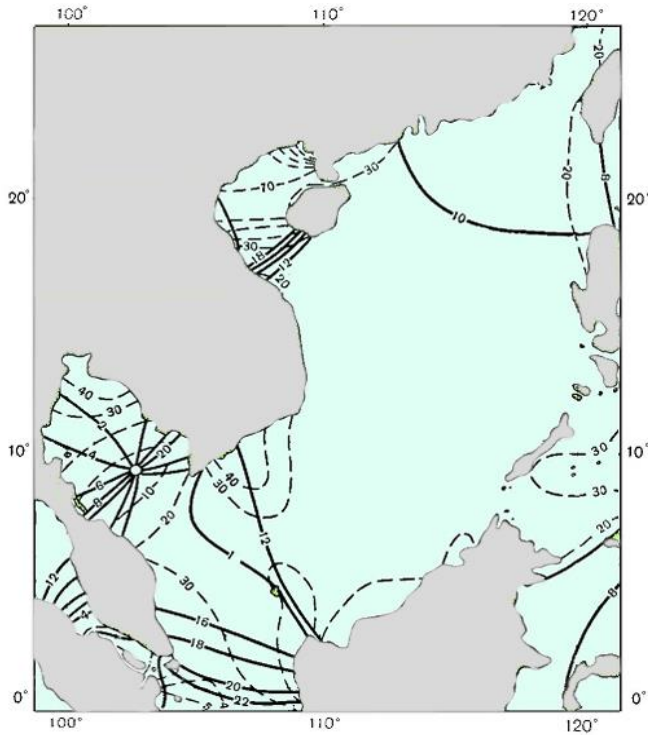


Рис. 1.13. Распространение волн суточных приливов K_1 [7, 12]

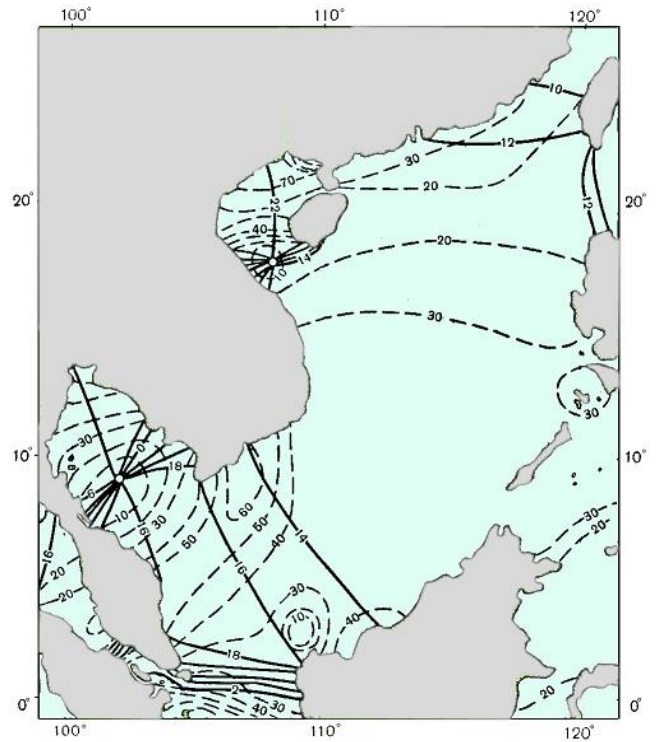


Рис. 1.14. Распространение волна суточных приливов O_1 [7, 12]

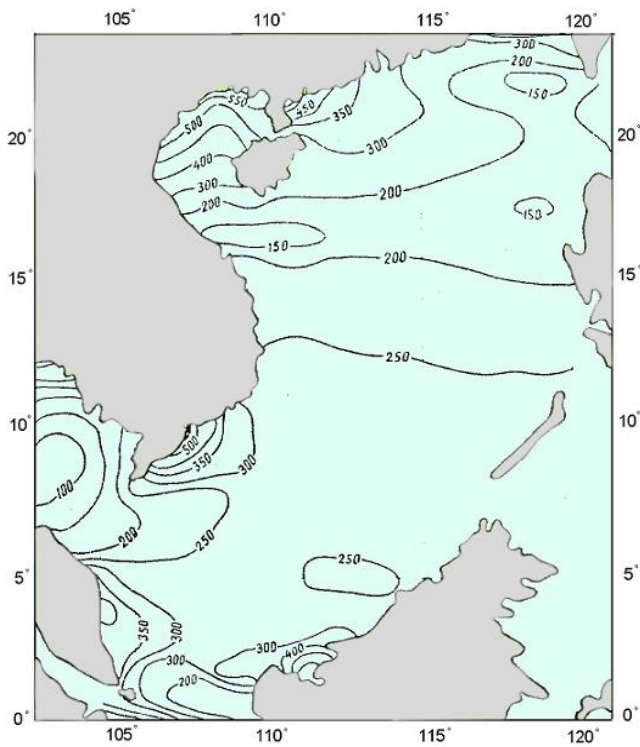


Рис. 1.15. Максимальные величины приливного уровня [7, 21]

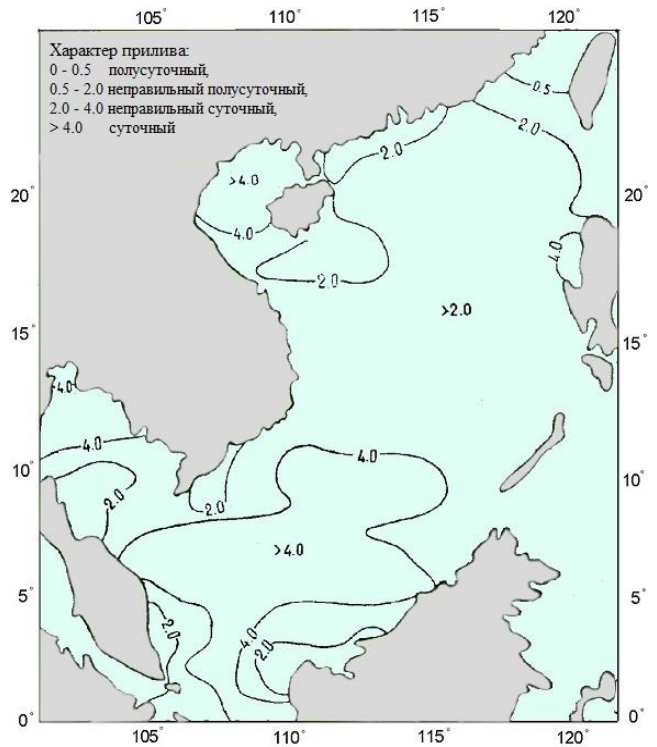
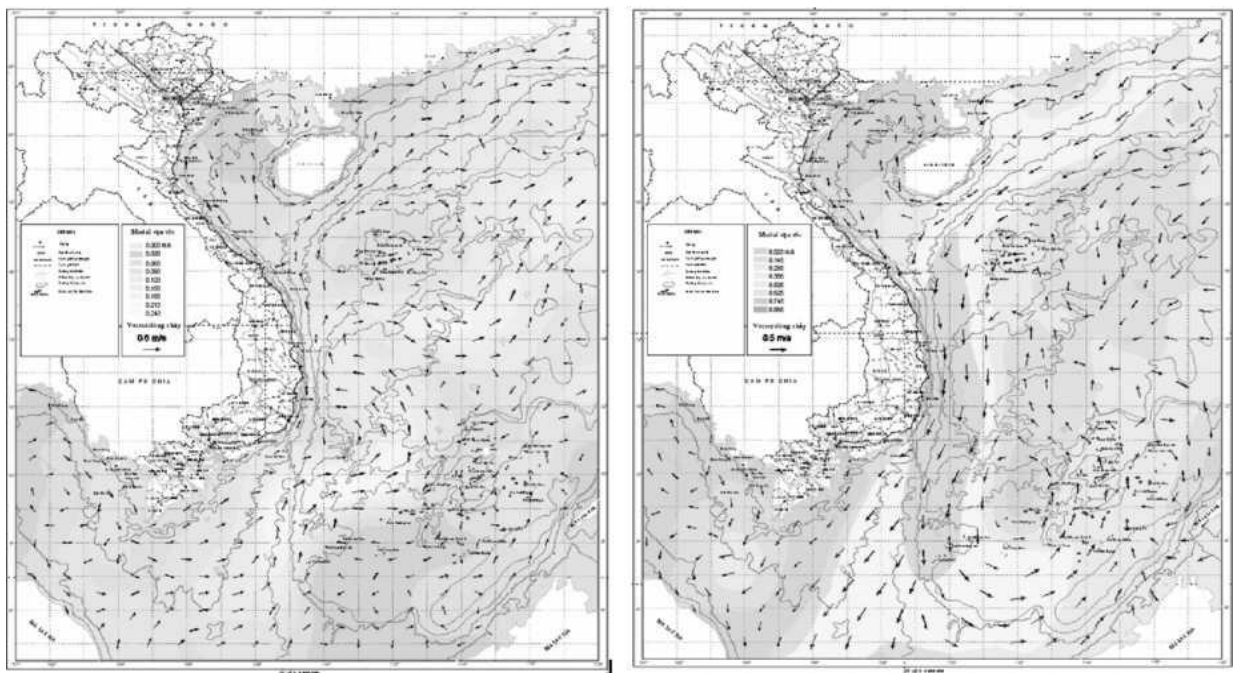


Рис. 1.16. Характер прилива [7, 21]

Максимальные величины приливного уровня показаны на рис. 1.15 [58].

В Южно-Китайском море наблюдаются типы приливов: полусуточные, неправильные полусуточные, неправильные суточные и суточные (рис. 1.16). На большей части акватории преобладают неправильные суточные приливы. В этих районах на величину прилива существенное влияние оказывает тропическое неравенство, которое определяется изменением величины склонения Солнца и Луны. Наибольшей величины суточные и неправильные суточные приливы достигают при большом склонении Луны: т.н. тропический прилив, а наименьших – при прохождении Луны через экватор: т.н. равноденственный прилив [58].

Циркуляция вод и течения. Циркуляция вод Южно-Китайского моря формируется в основном под воздействием муссонных ветров. Схема этих течений довольно сложна [88]. На рис. 1.17 показаны поверхностные течения в зимний и летний сезоны, полученные по среднемноголетним данным.



а) - лето

б) - зима

Рис. 1.17. Схемы поверхностных течений в Южно-Китайское море (Восточное море Вьетнама): а) – летний сезон; б) - зимний сезон [88].

В летний сезон основное формирование поверхностного течения зависит от поля юго-западного ветра с характеристиками, сильно дифференцированными в

результате воздействия полосы тропической конвергенции, расположенной в направлении с северо-запада на юго-восток. Главная ось течения на поверхности моря направлена с юго-запада на северо-восток с системой вихрей (рис.1.17.а, лето).

Средняя скорость течения составляет около 0,25м/с, а максимальная может превышать 0,5 м/сек.

Дифференциация поля ветра также является причиной формирования в главной оси северной части появления циклонического течения от пелагических провинций Кханьхоа, Ниньтуан, которое способствует формированию и поддержанию активного апвеллинга в районе Южно-Центрального моря Вьетнама. В каждом периоде, циклон может распространяться до широты 15°N-16°N и достигать юго-восточного побережья Парасельских островов.

В прибрежной части моря может произойти перемежающаяся смена направления течений с юга на север и обратно в результате спора между потоками ветра и солнечного тепла.

В районе западной и северной части Парасельских островов, по сравнению с ветровым потоком, роль соле-теплого потока становится значительной, и основная антициклоническая ветвь течения продолжается в северо-восточном направлении к Тонкинскому заливу. Другая ветвь течения направлена на юго-восток и юг, в район Парасельских островов, где встречается с ветвью от Центральной и южной частей моря, и формируется основной поток к проливу Лузон (Luzon). В зависимости от степени проникновения потока Суриошио (Curioshio) в северной части Южно-Китайского моря, в середине двух ветвей потока образуются новые вихри.

При слабой вихревой активности слаборазвитые местные ветви течений направлены на север, и в сочетании с прибрежными потоками Китая, через Тайваньский пролив или пролив Лусон в Тихий океан в поток Суриошио (Curioshio). Летняя циркуляция, при этом, разделяется на несколько различных местных вихрей, но на общем фоне, крупномасштабный антициклон по-прежнему в значительной степени покрывает все Южно-Китайское море.

В зимний сезон система поверхностных течений зависит от господствующих над Южно-Китайским морем ветров. Основными характерными признаками поверхностных течений в этот период является наличие больших циклонов на море, особенно в глубоких водах, более 100 метров. Усиление потока вдоль западного берега Южно-Китайского моря от Тайваньского пролива и пролива Лусон распространяется до широт 5° - 6° N.

В прибрежных водах центрального района Вьетнама, благодаря сочетанию ветрового потока с потоком тепла-соли (термохалинной циркуляции) достигает среднего значения от 0,75 до 0,85 м/с, а максимальное значение в некоторых случаях может превышать 1 м/с.

На континентальном шельфе Южно-Китайского моря, главным образом, под воздействием ветра формируется мощный поток, направленный в основном вдоль юго-западного и южного побережья Вьетнама и далее в Яванское море.

Типичным для Южно-Китайского моря (для всех сезонов) является наличие двух крупных вихрей циркуляции, направленных в противоположных направлениях, в зависимости от сезона. Тем не менее, из-за взаимодействия таких факторов, как ветер, плотность и температура воды, топография берегов, а также наличие водообмена с Тихим океаном и прилегающими морями, формируются дополнительные вихревые структуры и разномасштабные вихри.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1. Объект исследования

Во Вьетнаме тунец и тунцовые виды являются очень важными океаническими объектами рыбного промысла как исключительно ценные в пищевом отношении и пользующиеся неограниченным спросом у потребителя. Тунцовые виды рыб занимают 1-е место в структуре экспорта морепродуктов более чем в 60 странах мира.

В Мировом океане, свыше десяти видов тунца имеют промысловое значение, однако во Вьетнаме наибольший объём их вылова приходится на три тропических вида: желтоперый (*Thunnus albacares*), большеглазый (*Th. obesus*) и полосатый (*Katsuwonus pelamis*), их подробное описание дается в главе 3.

Тунец является главным объектом промысла в офшорных водах центральной части Южно-Китайского моря. В связи с тем, что в прибрежных районах рыбные ресурсы использовались чрезмерно, в рамках стратегического направления развития рыбного хозяйства государство определило приоритетную задачу национального пелагического промысла – развитие пелагического рыболовства в международных водах ЮКМ, где тунец является доминирующим объектом с точки зрения рыбного промысла.

Район исследования был ограничен следующей широтно-долготной зоной: 6-17° с.ш., 107-117° в.д. Именно в этом районе преимущественно осуществляется промысел рыбы вьетнамскими судами (Рис. 2.1).

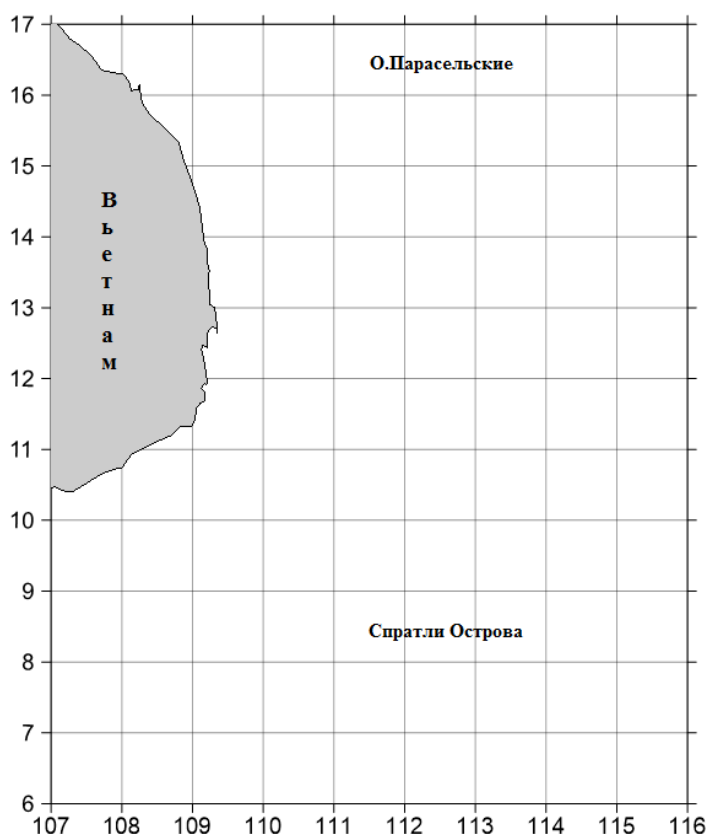


Рис. 2.1 Район, где ведут промысел вьетнамские суда.

2.2. Материалы исследования

В диссертационной работе было использовано большое число различных материалов из различных источников. В исследуемом районе ЮКМ выполнялись экспедиционные наблюдения за глубоководной температурой воды в течение 1990-2009 гг. Эти данные, представлены в океанологической базе данных Центра гидрометеорологической динамики и океанографии - Институт естественных наук - Ханойский Национальный университет, объем которых превышает 50000 гидрологических станций по температуре воды на разной глубине моря. Кроме того, они также представлены в мировой системе данных Océandatabase. Среднемесячные значение вылова в каждой точке сетки 0,5 градусов выбраны из базы данных оффшорного рыболовства Научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства Вьетнама, в которой хранится почти 15000 экспедиционных станций с 2000 г. по настоящее время. наблюдатели и дневники добычи (журнал), а также в системе данных Вьетнама VietFishBase.

Данные проекта Научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства Вьетнама были любезно предоставлены Динь Ван Уй, Доан Ван Во, Буй Тхань Хунг и др [90, 91, 92]. Кроме того, использовались данные Департамента по рыболовству и сохранению биоресурсов Вьетнама и Департамента по общему статистическому делу Вьетнама.

Для анализа пространственно-временных закономерностей глубины изотермы 24 °С (H_{24}) использован глубоководный архив CARTON-GIESE SODA (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p0p2-4>), который содержит данные о среднемесячных значениях температуры воды до глубины 5474 м [68]. В рассматриваемом районе были выбраны значения температуры воды в узлах двухградусной сетки от поверхности (5 м) до дна за период 1980-2008 гг. Всего таких узлов было 23.

Температура поверхности моря бралась из архива NOAA NCDC ERSSTv4 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version4/.SST>), в котором синтезируются данные о температуре поверхности моря (ТПМ) со всех надводных систем наблюдения, кроме спутниковых измерений. Шаг сетки этого архива составляет 2 градуса по широте и долготе, а продолжительность наблюдений – с 1854 г. по настоящее время [78].

2.3. Статистические методы анализа данных, используемых в работе

В данной работе использовался широкий комплекс стандартных методов одномерного и многомерного статистического анализа, содержащихся в современных пакетах прикладных статистических программ (ППСП). Поэтому кратко рассмотрим только основные методы обработки и анализа данных, используемые в работе.

Выявление и анализ трендов.

В общем случае межгодовая изменчивость любой характеристики может быть представлена в виде следующего разложения [42]:

$$X(t) = T(t) + C(t) + E(t), \quad (2.1)$$

где $T(t)$ – трендовая составляющая, $C(t)$ – компонента, характеризующая циклические колебания временного ряда, $E(t)$ – остаточная часть, характеризующая нерегулярные колебания. Очевидно, сумму первых двух слагаемых в разложении (2.1) можно рассматривать как детерминированную часть стохастического ряда, в то время как третье слагаемое – это случайная часть. В разложении (2.1) под трендовой составляющей будем понимать некоторое медленное изменение процесса с периодом, превышающим длину исходной реализации [42]. Отсюда следует, что само существование тренда полностью определяется длиной ряда. При изменении его длины тренд может появляться, исчезать, менять свою интенсивность и форму. По существу, тренд показывает, в какую сторону (повышения или понижения) идет развитие процесса во времени. Но при этом он не может образовывать циклы, которые, как видно из разложения (2.1) описываются вторым слагаемым.

Отметим, что до настоящего времени существует некоторая путаница в понятии тренда. В ряде работ [2, 3 и др] тренд отождествляется с тенденцией, под которой обычно понимают главные закономерности в развитии случайного процесса. Поэтому в отличие от тренда, тенденция временного ряда может образовывать циклы. Существует также мнение [30], что под трендом следует понимать детерминированную составляющую временного ряда. Кроме того, в некоторых случаях под трендом понимают самую долгопериодную составляющую временного ряда.

Очевидно, в некоторых случаях помимо *основного* (главного) тренда целесообразно выделять и *локальные* тренды. Основным является тренд для всего временного ряда. Если же ряд разбить на отдельные характерные отрезки, отличающиеся друг от друга направленностью временных колебаний, то для каждого из них можно построить свои локальные тренды. Естественно, выделение локальных трендов имеет смысл только для длинных временных рядов. Этому условию не всегда соответствуют промысловые характеристики.

В работе [45] показано, что возможно несколько видов тренда: по среднему значению, когда выборочное среднее линейным или нелинейным образом

изменяется во времени; тренд по дисперсии, когда меняется размах колебаний, тренд по среднему и дисперсии одновременно и тренд по автокорреляционной функции, когда она зависит не только от временного сдвига τ , но и от начала отсчета. Наиболее часто, в том числе в промышленных характеристиках, встречается тренд по среднему значению. Он может быть линейного и нелинейного вида и обычно аппроксимируется полиномиальными приближениями. Линейный тренд можно представить как:

$$T(t) = a_0 + a_1 t. \quad (2.2)$$

где t – время. В данном случае свободный член a_0 показывает условное значение ряда $X(t)$ при $t = 0$. Угловым коэффициентом (коэффициентом регрессии) a_1 представляет собой величину тренда (Tr), означающую скорость повышения (понижения) рассматриваемой характеристики в единицу времени. Нелинейный тренд выражается полиномом второй степени:

$$T(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (2.3)$$

Коэффициент a_2 показывает ускорение (замедление) скорости изменения рассматриваемой характеристики во времени в квадрате, т.е. параболическая форма тренда соответствует ускоренному или замедленному изменению значений ряда с постоянным ускорением. Если $a_2 < 0$ и $a_1 > 0$, то квадратическая парабола имеет максимум, если $a_2 > 0$ и $a_1 < 0$ – минимум. Для отыскания экстремума первую производную параболы по t приравнивают 0 и решают уравнение относительно t .

Численные значения коэффициентов в этих формулах определяются методом наименьших квадратов. Разумеется, возможны и другие способы аппроксимации тренда. При оценке тренда наиболее важным представляется оценка его значимости, т.е. насколько существен его вклад в изменчивость случайного процесса. Для этой цели используется критерий Стьюдента. Так, при оценке значимости линейного тренда записывается нулевая гипотеза по отношению к коэффициенту регрессии a_1 и коэффициенту корреляции между временным рядом и трендовой компонентой $r_{(X,T)}$:

$$H_0 : |a_1| = 0, H_0 : |r_{(X,T)}| = 0. \quad (2.4)$$

Для проверки этих гипотез рассчитывается выборочный критерий Стьюдента, причем можно показать, что $t_r = t_{a_1}$. Это облегчает оценку значимости тренда. Выборочное значение статистики Стьюдента вычисляется как:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (2.5)$$

Тренд считается значимым, если оценки критерия Стьюдента превышают его критическое значение при заданном уровне значимости, т.е.

$$t > t_{кр}(\alpha, \nu = n-2). \quad (2.6)$$

Приближенно оценить значимость тренда можно по критической величине коэффициента корреляции. Для достаточно длинных временных рядов и уровня значимости $\alpha = 0,05$ имеем $r_{кр} \approx \frac{2}{\sqrt{n+2}}$ [44]. Если $r_{(X,T)} > r_{кр}$, то тренд можно считать значимым. В современных ППСП значимость тренда может быть определена непосредственно по оценке *p-level* коэффициента a_1 .

При оценке значимости нелинейного тренда рассчитывается корреляционное отношение η , а затем осуществляется проверка нулевой гипотезы как коэффициента корреляции. По величине коэффициента корреляции и корреляционного отношения легко определить коэффициент детерминации, показывающий вклад тренда в описание дисперсии функции отклика. Он определяется в линейном и нелинейном варианте по одной и той же формуле $R^2 = \sigma_{Tr}^2 / \sigma_y^2$, где числитель – дисперсия тренда, знаменатель – дисперсия исходного ряда. Отметим, что по коэффициенту детерминации можно также оценить значимость тренда. Для достаточно длинных временных рядов и уровня значимости $\alpha = 0,05$ имеем $R_{кр}^2 \approx 4/(n+2)$ [42].

Другой важной характеристикой тренда является его величина Tr , определяемая в линейном случае как:

$$Tr = \frac{(a_0 + a_1 t_n) - (a_0 + a_1 t_1)}{n} = \frac{a_1(n-1)}{n} \approx a_1, \quad (2.7)$$

где n – длина ряда. Отсюда видно, что величина линейного тренда определяется коэффициентом регрессии. Аналогичным образом для нелинейного тренда вычисляются его первое и последнее значения по формуле (2.3) и затем разность делится на длину интервала. В результате получаем величину тренда в единицу времени. Однако при этом $Tr \neq a_1$. Следует иметь в виду, что рассчитанный таким образом для нелинейного тренда коэффициент детерминации выше по сравнению с линейным трендом. При этом, чем больше «крутизна» тренда, тем больше различия между линейным и нелинейным трендами.

Итак, коэффициент детерминации и величина тренда исчерпывающим образом характеризуют поведение тренда. Однако необходимо помнить, что рассмотренная выше процедура оценивания трендов является параметрической, эффективность которой существенно зависит от того, насколько точно исходный ряд близок к нормальному распределению и от его длины. Действительно, для длинных рядов, даже если исходный ряд не является нормальным, оценка тренда может быть осуществлена рассмотренным выше образом довольно точно. Для коротких рядов, особенно когда распределение исходных данных неизвестно, эффективность оценивания тренда по формулам (2.2) – (2.7) снижается. В этом случае для оценки коэффициента детерминации могут быть использованы непараметрические коэффициенты ранговой корреляции Спирмена или Кендалла с последующей приближенной оценкой на значимость по критерию Стьюдента [44].

Множественный регрессионный анализ

Как правило, промысловые характеристики определяются большим комплексом факторов, совместное действие которых может по-разному сказываться на исследуемом процессе. Поэтому, существует необходимость исследования воздействия различных причин одновременно. Данная задача решается с помощью классического метода анализа данных – множественного (многофакторного) регрессионного анализа [64].

Метод множественного регрессионного анализа используется практически во всех прикладных науках как наиболее универсальный метод анализа исходных данных, причем для решения конкретных задач разработаны сотни модификаций данного метода. В силу своей гибкости, простоты и теоретической разработанности он является составной частью многих других методов многомерного статистического анализа. В общем случае модель множественной линейной регрессии (МЛР) можно представить в следующем виде:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_j + \varepsilon_j, \quad (2.8)$$

где m – число переменных x_j в модели, ε_j – вектор остатков (ошибок), которые не описываются уравнением МЛР. Коэффициенты регрессии b_j вычисляются на основе метода наименьших квадратов.

Для построения эффективной модели МЛР необходимо выполнение следующих условий:

- ошибки МЛР должны иметь нулевое среднее;
- гомоскедастичность регрессионных остатков, т.е. дисперсия их должна быть постоянной;
- ошибки должны быть независимы (некоррелированы) с факторами и функцией отклика;
- между независимыми переменными не должно быть мультиколлинеарности;
- желательно, но не обязательно, нормальное распределение остатков.

Математическое описание МЛР содержится во многих работах [8,18,25,61], поэтому здесь ограничимся кратким изложением только тех аспектов, которые необходимы для понимания выполненных расчетов. При оценке качества модели МЛР используются следующие параметры:

1. *Множественный коэффициент линейной корреляции*, представляющий собой аналог обычного парного коэффициента корреляции, характеризующий

меру линейной связи между фактическими и вычисленными по уравнению МЛР значениями функции отклика, т.е.

$$r = \frac{1}{n\sigma_y\sigma_{y(x)}} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(\tilde{y}_i - \bar{y}), \quad (2.9)$$

где \tilde{y}_i – вычисленные по модели МЛР значения отклика, $\sigma_{y(x)}$ – стандартное отклонение значений \tilde{y}_i .

Величина R изменяется в пределах $0 \leq R \leq 1$. При $R = 1$ имеем функциональную линейную модель, когда факторы полностью описывают дисперсию функции отклика, вследствие чего остатки равны нулю ($\varepsilon_i = 0$). При $R = 0$, изменчивость функции отклика полностью определяется остатками ε_i . [3]. Отметим, что во многих ППСП одновременно с величиной R приводится также скорректированный множественный коэффициент корреляции $R_{ск}$, что позволяет устранить положительное смещение коэффициента корреляции.

$$r_{ск} = \sqrt{1 - \frac{D_\varepsilon(n-1)}{D_y(n-m)}} = \sqrt{1 - \frac{(1-r^2)(n-1)}{n-m}}, \quad (2.10)$$

где D_ε , D_y – выборочные оценки дисперсии остатков и функции отклика соответственно. Разность $R - R_{ск}$ – это поправка на положительное смещение величины R .

2. *Линейный коэффициент детерминации*, который представляет собой квадрат множественного коэффициента корреляции

$$R^2 = D_{y(x)}/D_y = 1 - (D_\varepsilon/D_x), \quad (2.11)$$

где $D_{y(x)}$ – дисперсия вычисленных по уравнению регрессии значений функции отклика; D_ε – дисперсия остатков. Коэффициент детерминации показывает долю объясненной дисперсии функции отклика.

3. *Среднеквадратическое (стандартное) отклонение модели:*

$$\sigma_{y(x)} = \sqrt{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2 / (n - m - 1)}. \quad (2.12)$$

Данная величина функционально связана с линейным коэффициентом детерминации формулой

$$\sigma_{y(x)} = \sqrt{1 - r^2}. \quad (2.13)$$

4. *Стандартные ошибки множественного коэффициента корреляции и коэффициентов регрессии:*

$$\sigma_R = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - m - 1}}, \quad (2.14)$$

$$\sigma_{b_j} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_j}} \sqrt{\frac{(1 - r^2) D_{yj}}{(n - m - 1) D_{yy}}}. \quad (2.15)$$

где σ_{x_j} – стандартное отклонение x_j предиктора; D_{yj} – минор главного определителя (детерминанта) у которого вычеркнута первая строка (y) и j -й столбец; D_{yy} – минор, у которого вычеркнуты первая строка и первый столбец.

Использование формулы (2.14) правомерно в тех случаях, когда выборочные значения R подчиняются нормальному закону, т.е. при сравнительно малых значениях R и большой длине исходных рядов n . При больших значениях R и малых значениях n следует применять z -преобразование Фишера.

Для проверки параметров R и b_j на значимость, формулируется нулевая гипотеза вида $H_0: R = 0, H_0: b_j = 0$. Проверка этой гипотезы осуществляется также с помощью t -критерия:

$$R > t_\alpha \sigma_R, \quad |b_j| > t_\alpha \sigma_{b_j}.$$

Если данное условие выполняется, то нулевая гипотеза отвергается как несостоятельная и выборочные оценки R и b_j считаются значимыми, т.е. отклоняющимися от нуля неслучайным образом. В большинстве ППСП процедура проверки значений b_j на значимость реализуется через p -критерий (p -level), представляющий уровень значимости, который соответствует t -критерию Стьюдента с учетом числа степеней свободы.

5. *Критерий Фишера*, используемый для оценки адекватности всей модели МЛР. С этой целью проверяется нулевая гипотеза вида $H_0: D_{y(x)} = D_\varepsilon$, т.е. дисперсия вычисленных по уравнению МЛР значений функции отклика равна дисперсии остатков. Нулевая гипотеза проверяется с помощью критерия Фишера:

$$F = D_{y(x)}(n - m - 1)/(D_\varepsilon m). \quad (2.16)$$

Вычисленное значение критерия Фишера сравнивается с его табличным (критическим) значением $F_{кр}(\alpha, \nu_1, \nu_2)$ при заданном уровне значимости α и степенях свободы $\nu_1 = m$, $\nu_2 = n - 1$. Если выполняется неравенство $F > F_{кр}$, то нулевая гипотеза о равенстве дисперсий вычисленных значений функции отклика и остатков отвергается и делается предположение, что дисперсия, описываемая моделью МЛР, неслучайным образом отличается от дисперсии ошибок. Это означает, что рассматриваемая модель является адекватной, т.е. она хорошо соответствует исходным данным функции отклика. Обратный вывод делается, если $F < F_{кр}$.

Задача выбора эффективных предикторов непосредственно связана с проблемой построения оптимальной модели МЛР и в большинстве современных пакетов ППСП осуществляется одновременно. Наиболее эффективным методом является метод пошаговой регрессии (*step-wise regression*). Существует два наиболее часто используемых алгоритма [8]: метод включения и метод исключения.

Суть метода включения переменных заключается в том, что вначале на первом шаге выбирается наиболее коррелированный с функцией отклика предиктор и рассчитываются все параметры модели парной регрессии. После этого на основе частных коэффициентов корреляции, которые показывают «чистый» вклад каждой переменной в дисперсию функции отклика, поочередно выбираются последующие переменные, имеющие максимальный частный коэффициент корреляции. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не будут построены все m моделей или не произойдет остановка по критерию.

Метод исключения переменных реализует обратную процедуру. Вначале строится полная (из m переменных) модель МЛР. Затем из нее поочередно

исключаются наименее значимые факторы. Так продолжается до тех пор, пока не останется единственный значимый фактор. Заметим, что если сравнивать результаты расчетов по обоим методам, то даже для одного и того же набора переменных полной тождественности не будет. Это связано, прежде всего, с формальными аспектами. В статистической литературе [25] предпочтение чаще отдается второму методу, так как при нем есть возможность рассмотреть все варианты моделей. Однако при большом числе переменных к достоинствам первого метода можно отнести как раз отсутствие необходимости строить полную модель МЛР. В данном исследовании используется именно метод включения переменных.

При выборе количества предикторов уравнения регрессии «наилучшим» образом описывающего исходную выборку, к сожалению, не существует единственно верного метода. В большинстве ППСП стандартная процедура остановки расчета основана на задании допустимого минимума *F*-включения и максимума *F*-удаления, где, минимум *F*-включения $F_{in} = F_{\alpha, 1} (1, \nu - 1)$, максимум *F*-удаления $F_{out} = F_{\alpha, 1} (1, \nu)$ для уровня значимости α и числа степеней свободы ν . Однако, по мнению [42], такой выбор значений *F*, не является достаточно корректным. Так же величина *F* может быть задана самим исследователем.

Процесс включения последующих предикторов в регрессионную модель происходит после сравнения значения *F*-переменных с величиной допустимого минимума F_{in} , то есть должно выполняться условие: $F > F_{in}$. Аналогичным образом происходит исключение переменных. Таким образом, набор *предикторов* определен тогда, когда вычисляемые значения *F* перестают, отвечают заданным критериям.

Однако, несмотря на то, что пошаговые алгоритмы хорошо разработаны, применение данного метода предполагает принятие субъективных решений, связанных с выбором оптимальной модели. Очевидно, что нахождение оптимальной модели МЛР – задача неформальная, и чем более сложной является исходная модель, тем большее неформальное участие исследователя требуется для оценки ее оптимального вида [42]. С одной стороны, если мы хотим, пользуясь

подобранной моделью, получать надежные прогнозы, то в модель следует включать по возможности наибольшее число переменных. С другой стороны, имея в виду неформальные критерии (стоимость информации, ее доступность и др.) в уравнение желательно включать как можно меньше предикторов. Кроме того, при увеличении числа переменных входящих в регрессионную модель происходит существенное противоречие: при неизменном объеме выборки качество описания функции отклика повышается, но при этом ухудшается точность всех параметров модели [43]. Подходящим компромиссом между этими двумя крайностями и является оптимальная модель. Так как единой статистической процедуры не существует, можно воспользоваться лишь общей схемой оценки оптимальности модели [42]. Прежде всего, следует рассчитать полный комплекс моделей (от 1 до m), производя анализ с помощью разных пошаговых алгоритмов и различным образом ранжируя предикторы. После этого необходимо провести комплексный анализ основных параметров моделей (коэффициент детерминации, стандартная ошибка модели, критерий Фишера, p -level коэффициентов регрессии). Так же следует учитывать тот факт, что чем проще модель, тем она надежнее, поэтому в тех случаях, когда приходится выбирать из нескольких моделей, нужно всегда предпочитать более простую. В результате всестороннего анализа можно составить объективное представление о степени надежности регрессионной модели, однако, далеко не всегда задача выбора оптимальной модели МЛР имеет однозначное решение.

Факторный анализ

В узком смысле под факторным анализом понимают методы выявления гипотетических (ненаблюдаемых) факторов призванных объяснить корреляционную матрицу R количественных наблюдаемых признаков. При этом предполагается, что наблюдаемые переменные являются линейной комбинацией факторов. Под фактором понимается гипотетическая непосредственно не измеряемая, скрытая (латентная) переменная в той или иной мере связанная с исходными наблюдаемыми переменными. Цель факторного анализа состоит в выделении среди большого числа наблюдаемых переменных гипотетических

величин, содержательно интерпретируемых и по возможности наиболее просто объясняющих совокупность изучаемых переменных.

Теоретические основы ФА заложены в 1930-40-е гг., американским психологом и математиком Терстоуном [85]. Он дал не только общую вычислительную схему, но и предложил много конструктивных идей, развитие которых продолжается до настоящего времени. В частности, Терстоун доказал основную факторную теорему, предложил центроидный метод определения факторов, методику оценки общности, сформировал принцип простой структуры и способы упрощения факторов.

Если метод главных компонент (МГК) считается математическим методом, не требующим в явном виде предварительных статистических гипотез, то факторный анализ (ФА) – это уже изначально статистический метод. Основная формула его в матричном виде записывается следующим образом [64]:

$$X = F \cdot A' + E, \quad (2.17)$$

где F – матрица значений общих факторов размером $k \times n$; A' – матрица коэффициентов связи общих факторов и исходных переменных размером $k \times n$, называемых факторными нагрузками; E – матрица остатков или характерных факторов ($k \times n$).

Условия, накладываемые на факторную модель (2.17), сводятся к следующему:

- общие факторы должны быть взаимно независимы;
- общие факторы должны быть нормированы и приведены к единичной длине;
- общие факторы не должны быть коррелированы с ошибками;
- ошибки не должны быть коррелированы друг с другом;
- число общих факторов не должно превышать половины количества наблюдаемых переменных, т.е. $k \leq m/2$.

Вычисление общих факторов. Методы факторного анализа принято делить на две группы: упрощенные и современные аппроксимирующие [62]. В настоящее время в основном используются методы второй группы, которые предполагают, что первое, приближенное решение уже найдено и последующими шагами оно каким-либо образом оптимизируется. Наиболее точным, и в тоже время самым сложным, считается метод максимального правдоподобия [29, 63]. Однако наиболее широкое распространение получил метод главных факторов, который включен в большинство современных ППСП. Основой его служит МГК, который позволяет получить первоначальные факторные нагрузки в m -мерном пространстве признаков. После этого осуществляется переход из m -мерного пространства в k -мерное пространство общих факторов, вследствие чего удаляются те оси, вдоль которых наблюдаемая изменчивость не выходит за рамки принятых ошибок.

Затем проводится вторичное вращение осей уже в пространстве k общих факторов таким образом, чтобы как можно большее число факторных нагрузок оказалось близким к нулю, а остальные факторные нагрузки, наоборот, были бы максимально приближены к ± 1 . Такая процедура получила название *принципа простой структуры*. В результате этого происходит перераспределение дисперсии наблюдений и одновременно искажение геометрической структуры исходных данных. В тех случаях, когда достигается лучшая интерпретируемость полученных результатов, использование МФА можно считать оправданным.

Таким образом, общая структурная схема вычисления общих факторов может быть представлена следующим образом (рис. 2.1):

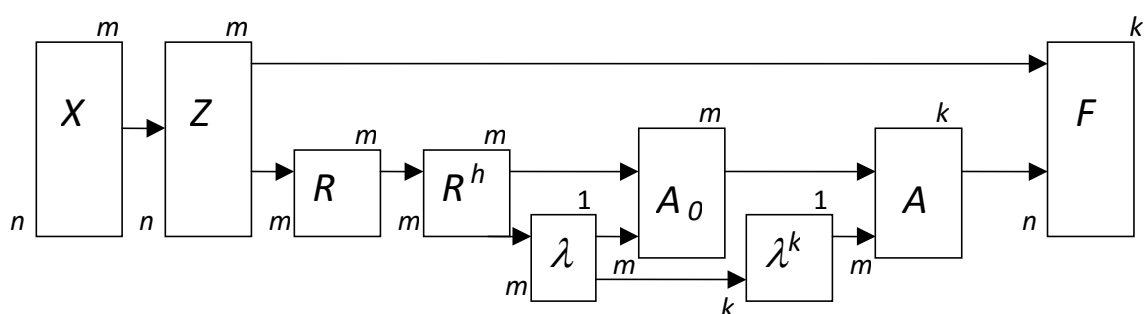


Рисунок 2.1. Структурная схема факторного анализа [44]:

X – матрица исходных данных размером $m \times n$;

Z – Стандартизированная матрица того же размера;

R – Корреляционная матрица размером $m \times m$;

R^h – редуцированная корреляционная матрица размером $m \times m$;

λ – вектор-столбец собственных чисел матрицы R^h длиной m ;

A_0 – матрица первоначальных факторных нагрузок размером $m \times m$;

λ^k – вектор-столбец собственных чисел матрицы R^h длиной k ;

A – матрица окончательных факторных нагрузок размером $k \times m$;

F – Матрица главных факторов размером $k \times n$.

Первое отличие МФА от МГК начинается с момента перехода от обычной корреляционной матрицы к редуцированной, в которой на главной диагонали вместо единиц стоят общности. Напомним, *общность* представляет собой долю дисперсии переменных, которая поддается объяснению через общие факторы.

В общем случае величина общности может быть записана в виде $h^2 = 1 - u^2$, где u^2 – дисперсия характерности. Для определения общности используются несколько способов: метод наибольшей корреляции, метод Барта, метод триад, метод малого центроида, метод квадрата множественного коэффициента корреляции [11, 62, 63]. Наиболее часто по умолчанию в ППСП используется последний способ, в соответствии с которым для каждой переменной рассчитывается величина R^2 со всеми другими переменными и подставляется на главную диагональ вместо единицы.

Другое важнейшее отличие МФА от МГК заключается в осуществлении процедуры вторичного вращения общих факторов для улучшения их интерпретируемости. В соответствии с принципом простой структуры ее главная задача, состоящая в оценке достаточности числа поворотов, обычно решается на основе специальных критериев, которые базируются на представлении величины дисперсии факторных нагрузок как меры сложности структуры факторов. Эта дисперсия рассчитывается по формуле:

$$D(F) = \frac{1}{k} \sum_{q=1}^k (a_{jq}^2 - \overline{a_{jq}^2})^2, \quad (2.18)$$

где a_{jq}^2 – элементы матрицы факторного отображения, т.е. величины факторных нагрузок, k – число общих факторов.

Из формулы (2.18) следует, что величина дисперсии будет максимальной, когда одно из значений квадратов нагрузок равно общности h^2_j , а все остальные элементы в строке равны нулю. Именно в максимизации критерия (2.18) посредством поворота координатных осей состоит суть ортогонального вращения факторного пространства. С этой целью используются следующие критерии [11, 62]: кватримакс, варимакс, облимакс, кватримин, облимин.

Из указанных критериев наиболее широкое применение получил варимакс, предложенный Кайзером, который наилучшим образом соответствует принципу простой структуры и имеет вид

$$V_r = \frac{m \sum_{j=1}^m a_{jr}^4 - \left(\sum_{j=1}^m a_{jr}^2 \right)^2}{m^2}. \quad (2.19)$$

Полученные в результате такого ортогонального вращения значения a_{ij} принимаются в качестве окончательных факторных нагрузок. Заметим, что в тех случаях, когда, по мнению исследователя, ортогональное вращение не приводит к достижению «нужных» результатов, могут использоваться процедуры косоугольного вращения (облимакс, кватримин, облимин), при котором факторы становятся уже коррелированными между собой. Очевидно, это противоречит классической постановке задачи МФА и существенно расширяет исходное множество его допущений.

Кроме того, не ортогональное вращение вносит элемент субъективности в без того довольно произвольное вращение задачи, которое целесообразно избегать всем, исключая экспертов. Подчеркнем также, что при вторичном вращении происходит искажение геометрической структуры объектов в факторном

пространстве. Это может приводить как к улучшению, так и к ухудшению физической интерпретируемости исходных объектов.

Глава 3. Основные закономерности формирования биологической и промысловой продуктивности вод Южно-Китайского моря

3.1. Особенности распространения тунца в Мировом океане

Тунец широко распространен во всех океанах в связи с его уникальными возможностями преодолевать огромные расстояния. Несмотря на ряд исследований по миграции тунца [74], у нас до сих пор весьма поверхностные знания по этой проблеме.

Тунец и тунцовые виды являются очень важными океаническими объектами рыбного промысла, как исключительно ценные в пищевом отношении и пользующиеся неограниченным спросом у потребителя. Они включают в себя около сорока видов, обитающих в тропических, субтропических и умеренных широтах Мирового океана. Основные популяции тунца распределены от 40° с.ш. до 40° ю.ш., хотя в теплое время года косяки тунца встречаются и в более высоких широтах (рис. 3.1) [9, 51, 52].

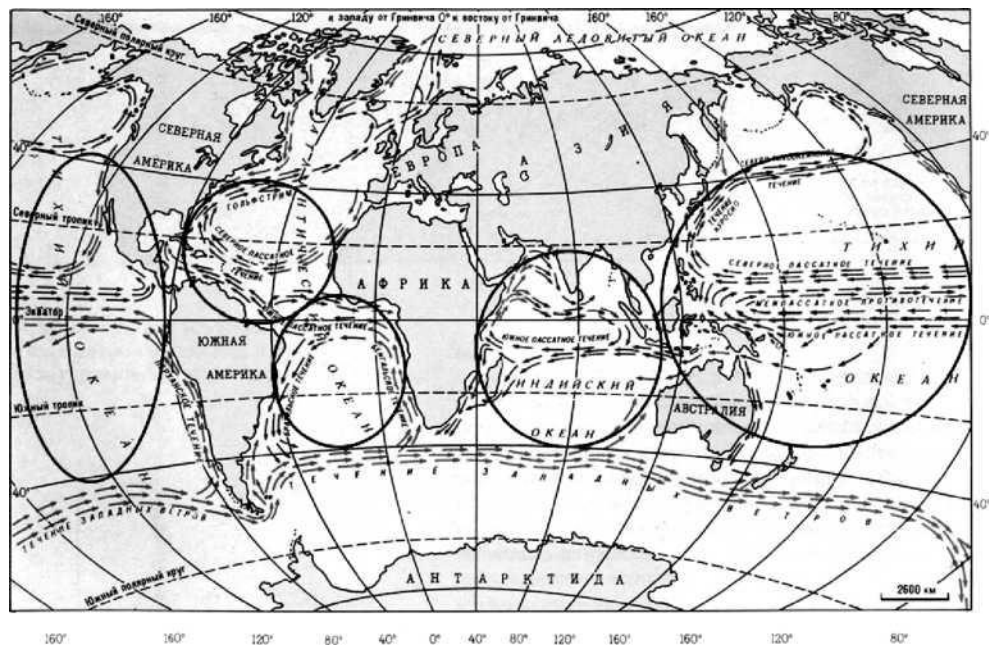
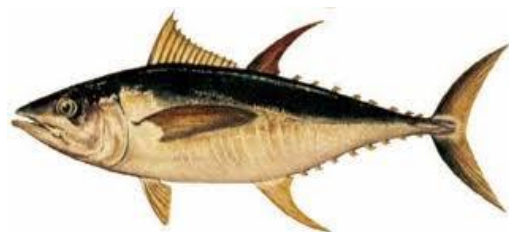


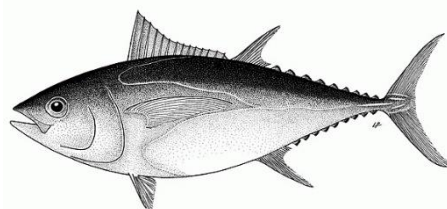
Рис. 3.1. Районы распределения тунца мирового океана [57].

Свыше десяти видов тунца имеют промысловое значение: желтоперый (альбакор - *Thunnus albacares*), длиноперый (*Th. alalunga*), большеглазый (*Th. Obesus*), синеперый (*Th. Thynnus*), полосатый (*Katsuwonus pelamis*), длинохвостый (*Th. Tonggol*), макрелевый (*Auxis thazard*), 3 вида пятнистых (*Euthynnus alletteratus*,

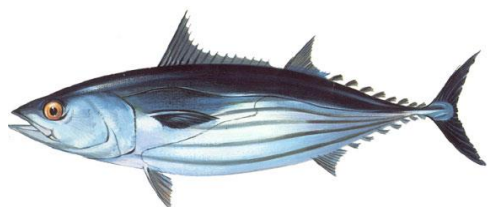
E. affinis, *E. Lineatus*), атлантический (*Th. Atlanticus*), южный синий (*Th. Masscoyii*), скумбревидный (*A. Rochei*) и некоторые другие виды тунца [9, 28, 49, 52]. На рис. 3.2 представлены наиболее часто встречающиеся виды тунца.



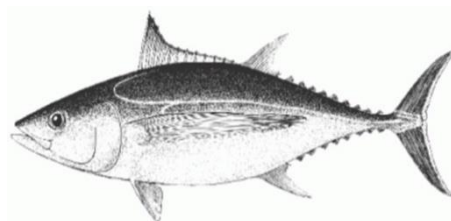
а) Желтопёрый тунец



б) Большеглазый тунец



в) Полосатый тунец



г) Длиннопёрый тунец

Рис. 3.2. Основные виды тунца.

Промысел тунца начался в девятнадцатом веке (по некоторым источникам даже раньше) и осуществлялся в различных частях Мирового океана. Ведущими странами добычи тунца являются Япония, Индонезия, Филиппины, Тайвань, Южная Корея, Испания, США, Мексика, Франция, Перу, Вьетнам. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной Организации (ФАО), если мировой вылов тунца в 1950 г. был менее 1 млн. тонн, то к 2009 году он достиг 6,5 млн. тонн, т.е. увеличивался со скоростью около 0,1 млн. тонн/год (рис. 3.3). При этом основу мирового вылова тунца составляют полосатый (40%) и желтоперый (18%) тунец [74].

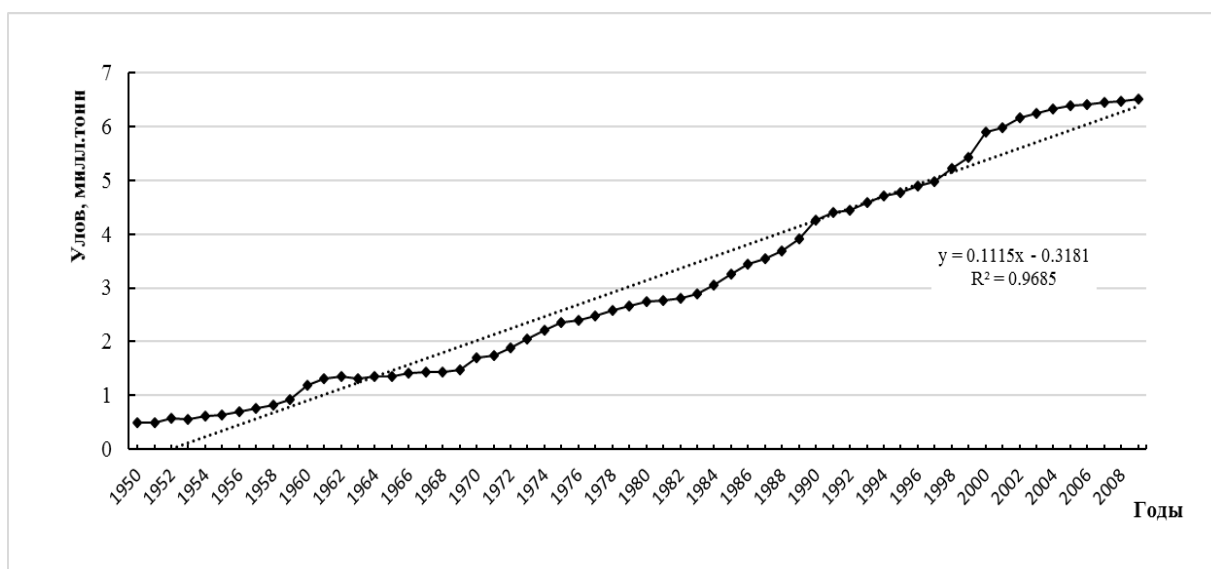


Рис. 3.3. Общий мировой улов тунца и его отдельных видов в течение 1950-2009 гг. и его линейный тренд по данным [74] в миллионах тонн в год.

В результате расширения промыслового района из Атлантического океана в тропическую западную и центральную части Тихого океана, промысел тунца резко увеличился, особенно к середине 70-х годов прошлого века. В Атлантическом океане, общий вылов тунца колебался в пределах 0,49-0,59 млн. т. в период 1994-1998 гг., и уменьшился до 0,4 млн. т. в 2009 г [17]. Основные объекты промысла - полосатый, большеглазый и длиннопёрый тунец. В Индийском океане вылов тунца возрос в 6 раз с 1975 г. и составлял 836 тыс. т. в 2009 г. [31, 60]. Это около 20% от всей добычи в Мировом океане. Основные объекты промысла полосатый, желтоперый, большеглазый и длиннохвостый тунец. По статистике наибольшая доля вылова тунца приходится на Тихий океан, где он достиг более 3 млн. т. в 2009 г., что составляет 45-60 % всей добычи в Мировом океане. При этом около 80% приходится на долю полосатого тунца.

На рис. 3.4 приводится общий мировой улов основных видов тунцов в течение 1950-2011 гг. по данным ФАО [74]. Нетрудно видеть особенно быстрый рост добычи полосатого тунца. На момент 2010 года его вылов достигал более 40 % от суммарного вылова тунца. Что касается других видов тунца, то можно отметить заметное снижение вылова желтопёрого тунца, начиная с 2003 года. Некоторая тенденция к увеличению вылова фиксируется для полосатого тунца.

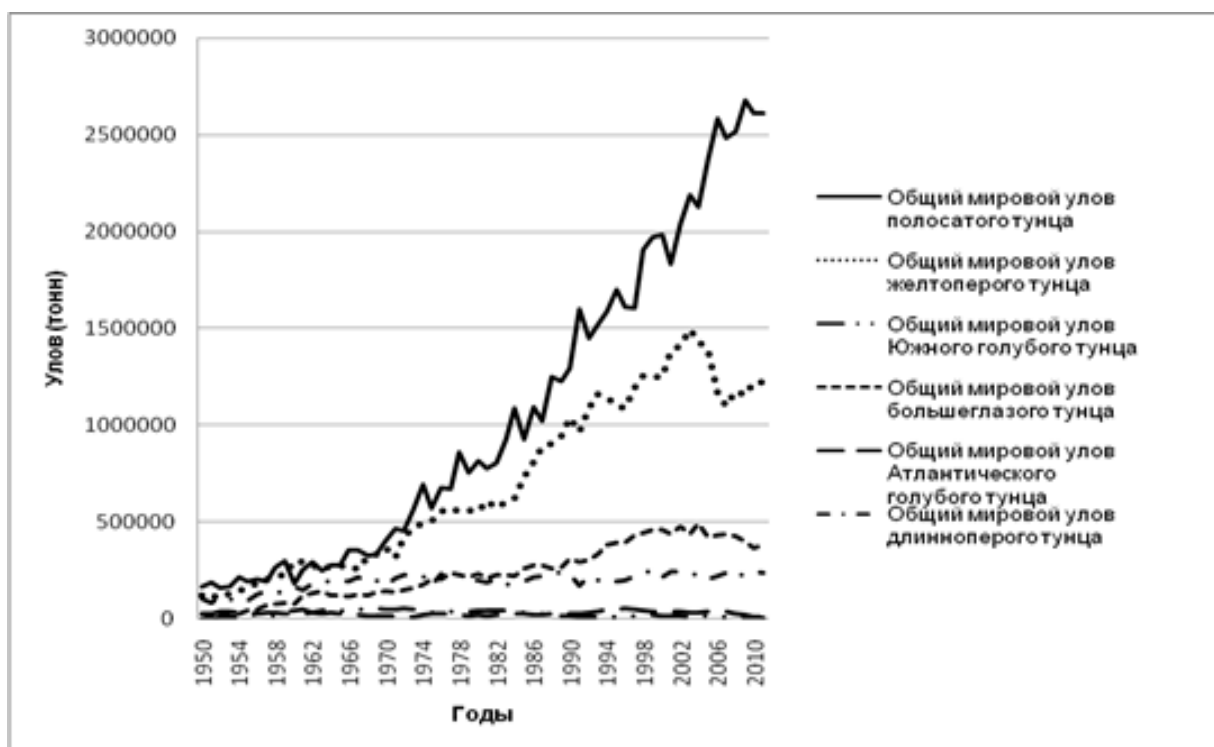


Рис. 3.4. Общий мировой улов основных видов тунцов в течение 1950-2011 гг. по данным ФАО [74].

Для оценки запасов рыбы «тунца» существует множество различных моделей с использованием многих методов: эмпирических, статических, биостатистических, методов биопромышленной статистики [47, 48].

С 1998 года для оценки состояния запасов и общего допустимого улова (ОДУ) тунца, определения мер по их охране в Атлантическом океане осуществляются Международной комиссией по сохранению запасов атлантических тунцов (ICCAT) с использованием продукционных моделей и визуально-популяционного анализа [17]. Было установлено, что в Атлантическом океане из-за чрезмерной эксплуатации популяция желтоперого тунца снизилась, и с 1994 г. наблюдается тенденция к снижению его вылова. Вылов желтоперого тунца в 1998 г. составил всего 150 тыс. тонн (при ОДУ 156 тыс. тонн.) и находится в удовлетворительном состоянии. Современный вылов полосатого тунца составляет 148 тыс. тонн, его запасы находятся в хорошем состоянии, поэтому общий вылов может быть доведен до 200 тыс. тонн. Большеглазый тунец вылавливается на уровне ОДУ, составляющем около 90 тыс. тонн, вылов в 1998 г. составил 101 тыс.

т. Длинноперый тунец — вылов 59 тыс. тонн, запасы его находятся в удовлетворительном состоянии, ОДУ составляет около 62 тыс. тонн. Запасы пятнистого, макрелевого и скумбровидного тунцов находятся в хорошем состоянии и недоиспользуются промыслом [65].

В Индийском океане состояние запасов тунца удовлетворительное. При расчетной биомассе желтоперого тунца в 1,8 млн. тонн ОДУ, определенный для всего океана, составляет 320 тыс. тонн, вылов в 1998 г. составил 257 тыс. тонн. Запасы полосатого тунца находятся в хорошем состоянии: ОДУ оценивается в 400 тыс. тонн при биомассе в 2 млн. тонн, а вылов составляет около 300 тыс. тонн. При расчетной биомассе большеглазого тунца в 0,3 млн. тонн и ОДУ в 60 тыс. тонн вылов составил 96 тыс. тонн. Согласно экспертным оценкам специалистов, сырьевая база тунцевого промысла только у берегов Индии может обеспечить годовой вылов на уровне 500 тыс. тонн.

В Тихом океане, общий вылов тунца составляет 2,7 млн. тонн. Состояние основных видов тунцовых (полосатый и желтоперый) находятся в хорошем состоянии. Величина ОДУ для желтоперого тунца оценивается в 400-500 тыс. тонн, полосатого — 1 100-1 300 тыс. тонн.

В настоящее время в Международную Региональную Тунцеловную Управляющую Организацию (TRFMO) входят Международная комиссия по сохранению атлантических тунцов (ICCAT), Комиссия по тунцам Индийского океана (IOTC), Рыболовная комиссия Центральной и Западной части Тихого океана (WCPFC), Межамериканская комиссия по тропическим тунцам в Восточной части Тихого океана (IATTC), Комиссия по сохранению южного голубого тунца (CCSBT). Эти комиссии имеют задачи статистической оценки вылова разных видов рыбы, исследований в связи с оценкой их состояния и прогнозирования запасов рыбы и т. д. [5].

Развитие научных исследований в области среды обитания и промысла тунца, тщательное изучение и точная оценка современного состояния его запасов и установление научно обоснованного общего допустимого улова (ОДУ) позволят

регулировать промысел тунца, повышать его эффективность, рационально использовать и сохранять его видовой состав и запасы.

Исходя из ареалов обитания и способов промысла принято делить тунцы на тропические и умеренные, на океанические и неритические (прибрежные). Тропические тунцы существуют в воде с температурой более 18 °С (хотя иногда они могут погрузиться и в более холодные воды), в то время как умеренные тунцы обитают в более холодной воде при температуре выше 10 °С, но они также могут быть найдены и в тропических водах [67].

К тропическим тунцам относятся полосатый и желтоперый; к умеренным – альбакора, тихоокеанский синий, голубой атлантической и южной голубой тунец. На рис. 3.5 представлены ареалы обитания тропических и умеренных тунцов. Естественно, акватория обитания тропических тунцов значительно больше.

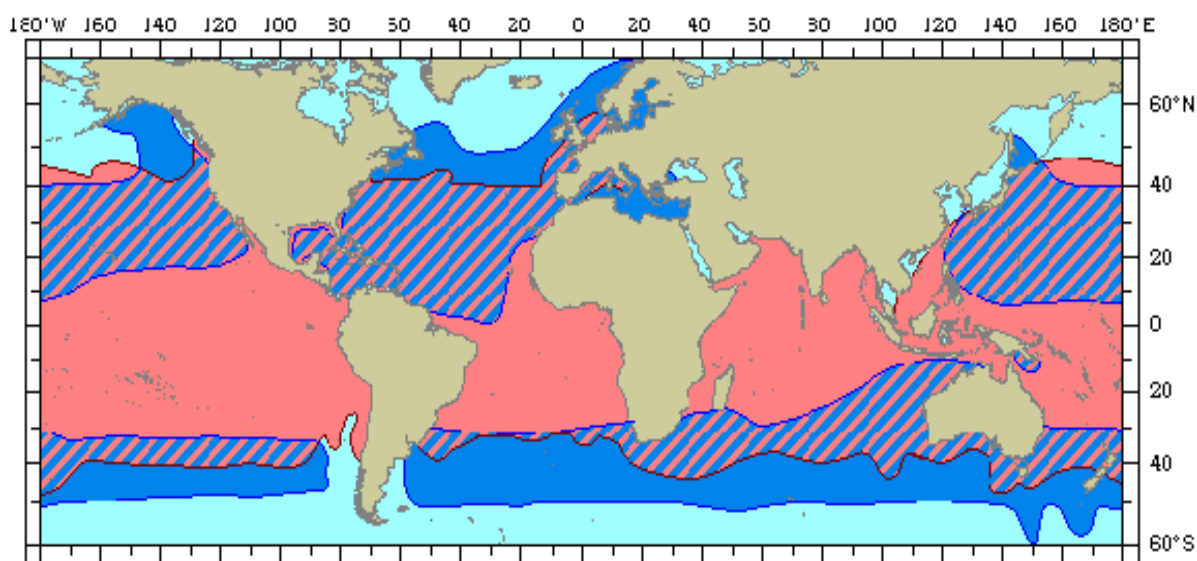


Рис. 3.5. Ареалы обитания тунцов в Мировом океане (■ – тропические тунцы, ■ – умеренные тунцы) согласно ФАО [74].

Зоны распространения океанических и неритических тунцов приводятся на рис. 3.6. В прибрежных районах встречается значительно больше видов тунца, однако, как правило, они имеют существенно меньшие размеры, чем океанические тунцы. Из данной классификации следует, что в Южно-Китайском море обитают неритические тунцы.

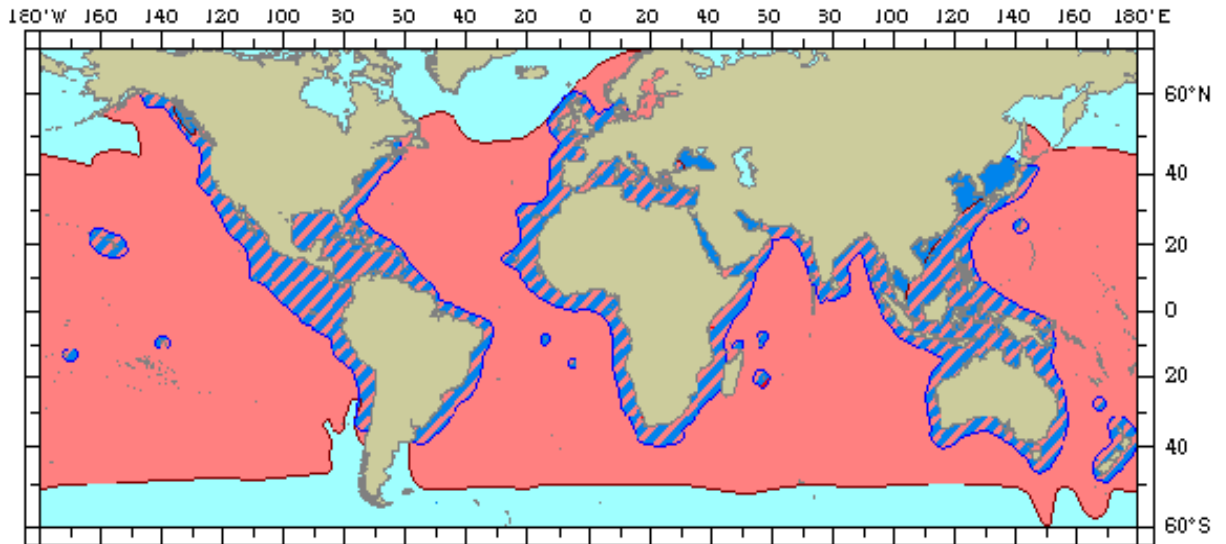


Рис. 3.6. Ареалы обитания тунцов в Мировом океане (■ – океанические тунцы, ■ – неритические тунцы) согласно ФАО [74].

Тунец обитает на разных глубинах: крупные тунцы до глубин 300-400 м, причем не образует плотных концентраций и держится в основном в открытой части Мирового океана. Вертикальное распределение мелких тунцов ограничено глубинами до 100 м, хотя чаще всего они находятся в самом верхнем слое воды до 50 м [9]. В отличие от крупных тунцов мелкие тунцы образуют плотные косяки. Нередко мелкие тунцы образуют на поверхности океана большие скопления, имеющие в поперечнике 1 км и более.

Все тунцы имеют веретенообразную, обтекаемую форму тела, заостренное рыло и тонкий хвостовой стебель. Поверхность тела у тунцов гладкая, контуры тела очень плавные. Благодаря всем этим особенностям анатомического строения тунцы во время движения испытывают наименьшее сопротивление воды, что позволяет им плавать с большой скоростью. Максимальная скорость тунца до сих пор не установлена, но она оценивается в несколько десятков узлов. Обычно тунцы совершают миграции со скоростью 9-10 узлов, иногда – до 15-18 узлов, из-за чего их обнаружение и ловля представляет определенную трудность. Однако, когда тунец охотится («кипящий» косяк), он движется со скоростью преследуемой рыбы (обычно 2-3 узла), и тогда становится удобным объектом лова.

Масса крупных тунцов составляет обычно несколько десятков килограммов, длина более 1 м; масса и длина мелких тунцов составляют соответственно 3-5 кг и 50-60 см (табл. 3.1) [9].

Таблица 3.1.

Массо-размерные характеристики основных промысловых видов тунца

Вид тунца	Размеры, см	Масса, кг	Главные способы лова
Желтоперый	60 - 120	5 – 30	Удебный лов
	120 – 170	20 - 70	Ярусный лов
Длиноперый	90 - 115	14 - 26	Ярусный лов
Большеглазый	60 - 200	10 – 130 (сред. 70-75кг)	Ярусный лов
Синеперый	140 - 150	60 - 70	Ярусный лов
Полосатый	50 - 60	3 - 5	Кошельковый лов

Интересной физиологической особенностью тунцов является более высокая, по сравнению с температурой окружающей среды, температура тела. В тропиках разница между температурой тела тунцов и температурой воды невелика или даже совсем отсутствует, но в районах с более низкой температурой она может достигать 9°. У тунцов сильно развита система подкожных кровеносных сосудов на поверхности боковой мускулатуры. Благодаря усиленной циркуляции крови температура тела остается высокой даже тогда, когда тунцы заходят в воды со сравнительно низкой температурой. По-видимому, это является одним из приспособлений, позволяющих тунцам совершать миграции (перемещения) из тропических вод в умеренные и вести активный образ жизни и в более холодных водах [54, 59].

Тунцы нерестятся почти повсеместно в экваториальных и тропических водах, а также в некоторых субтропических районах, например, у Южной Японии и Гавайских островов. В экваториальных районах нерест происходит круглый год, а в районах с более умеренным климатом – только в теплое время года. Самка выметывает несколько миллионов икринок диаметром около 1 мм, из которых через одни-двое суток выклеваются личинки. Икра, личинки и мальки дрейфуют

в верхних слоях воды. Тунцы являются типичными хищниками и питаются различной мелкой рыбой: сардиной, сайрой, анчоусом, летучими рыбами, а также кальмарами и некоторыми другими видами морской фауны (головоногими моллюсками и планктонными ракообразными).

Каждый вид тунцов имеет свои биологические особенности, которые необходимо учитывать при организации исследований и промысла этих рыб. Ниже приводится краткая характеристика отдельных трёх основных видов.

Тунец желтоперый / *Thunnus albacares*.

Желтоперый тунец получил свое название благодаря оранжево-желтой окраске мягкого спинного и анального плавников. Он является рыбой большого размера, с твердым телом, в форме слегка сплюснутого сверху ромба. Два спинных плавника разделены узким промежутком, за ними расположены 8-10 вспомогательных спинных плавников, на нижней стороне тела находится 7-10 вспомогательных плавников, расположенных после анального плавника (рис. 3.2 а).

Желтоперый тунец обитает в основном в поверхностном слое воды, но концентрируется в более глубоких слоях на глубинах около 250 м, где обычно осуществляется его ярусный лов. Сфера обитания желтоперого тунца в тропических и субтропических районах всех океанов находится в диапазоне температур 15-31°C, но предпочтительная температура составляет около 18-28°C [57, 76].

Оптимальной температурой для активной деятельности желтоперого тунца в Тихом океане является температура воды 24°C. Распределение глубин обитания для взрослого желтоперого тунца (вес 60-90 кг) и незрелых рыб (вес 2-5 кг) почти одинаково. Примерно 60-80% времени жизни они проводят в поверхностном слое воды. Иногда взрослые рыбы опускаются вниз, в холодную воду 18°C, однако 90% времени своей жизни они проводят в водах с температурой выше 22°C.

Наибольшая глубина, которую желтоперый тунец может достичь, равна 270 м, где температура воды составляет около 15°C, а средняя концентрация кислорода остается выше 80% насыщения. При температуре 25°C, в рыбе происходят

физиологические изменения, соответствующие дефициту кислорода в окружающей среде, что приводит к небольшому снижению предела выносливости, но не снижает распределение кислорода в кровеносной системе. Однако, температура тела является лимитирующим фактором деятельности желтоперого тунца на глубине. В частности, при температуре воды 15°C рыбы не имеют возможности увеличить частоту сердечных сокращений, и, поэтому сердце уже не удовлетворяет спрос необходимого уровня кислорода в организме, когда они охотятся на другую рыбу или ищут убежище от хищников. Поэтому, на глубинах с температурой воды ниже 18°C желтоперый тунец уже практически не встречается.

Желтоперый тунец достаточно быстро растет: к концу первого года жизни он достигает длины 50 см; второго года – 95 см; третьего – 126 см; четвертого – 150 см. При достижении длины 170–175 см темп его роста существенно снижается. Нерест данного вида тунца в западной части Индийского океана происходит круглогодично с пиками в ноябре и марте. В Атлантическом океане нерест продолжается с декабря по апрель. Молодые особи формируются в стаи. Они обычно обитают в прибрежных районах и у поверхности, тогда как взрослые рыбы обитают в открытых районах океана на глубинах до 150 м. Взрослые особи, в отличие от молоди, как правило, не образуют смешанных скоплений с другими пелагическими видами рыб.

В тропической зоне желтоперые тунцы встречаются повсюду, и частота встречаемости определяется кормовыми условиями. Районы наибольших скоплений этого вида приурочены к водам с повышенной биологической продуктивностью. Кормовой спектр желтоперого тунца очень разнообразен, что, способствует устойчивости вида к внешним изменениям. У мелких тунцов, живущих вблизи поверхности, в составе пищи доминируют приповерхностные рыбы, головоногие и раки; у более крупных, обитающих на средних глубинах – кальмары и рыбы, среди которых особенно часты морские лещи, гемпилы, молодь рыб-лун. Желтоперый тунец достигает 208 см длины и веса 176,4 кг. [40].

Тунец большеглазый / *Thunnus obesus*.

Большеглазый тунец имеет твердое тело в форме ромба, сплюснутого с двух сторон, большие голову и глаза. Два спинных плавника разделены узким промежутком. После второго спинного плавника имеется 8-10 вспомогательных спинных плавников, а на нижней стороне тела 7-10 вспомогательных плавников, расположенных после анального плавника (рис. 3.2 б). Грудные плавники составляют в среднем 22-31% длины тела у экземпляров больших размеров (более 110 см), но эти показатели могут отличаться у более мелких особей [75, 82].

Большеглазый тунец широко распространен в тропических и субтропических районах всех океанов, обитает на глубинах от 50 до 350 м, что соответствует температуре воды 13–29°C, однако оптимальной является температура 17–22 °C [79]. Появление этого вида изменяется в зависимости от климата и по сезонам, но часто отмечается в поверхностных водах в условиях термоклина. Температура и глубина термического слоя могут являться главным фактором, определяющим распределение по горизонтальному и вертикальному распределению большеглазого тунца в окружающей среде. Большеглазый тунец имеют диапазон температур и концентрации кислорода ниже, чем у других видов тунца.

У поверхности живут лишь молодые особи этого вида, образующие довольно плотные стаи. Взрослые рыбы ведут, вероятно, одиночный образ жизни. Несовершеннолетние и маленькие взрослые тунцы часто образуют вблизи поверхности воды группы одного вида или с другими видами тунца (желтоперого тунца, полосатого тунца) и могут находиться в общих стаях. В тропиках, мелких тунцов обычно ловят на глубинах 50–100 м. Большие рыбы находятся в более глубоких слоях и живут обособленно, не создавая косяков. Результаты наблюдений за большеглазым тунцом на Гавайях показали, что в течение дня, распределение взрослых рыб тесно связано с изотермой 15°C, ночью, рыба поднимается в более теплые воды на глубину 50 м.

Большеглазый тунец, как правило, живёт в водах с диапазоном колебаний температуры воды больше, чем для желтоперого (около 10°C для мелких рыб, 18°C для взрослых рыб). Плодовитость его варьирует от 2,9 до 6,3 млн. икринок,

выметываемых в несколько порций; эмбриональное развитие при 28—29°C заканчивается, как и у других тунцов, очень быстро — через 21 час.

Большеглазый тунец кормится днем и ночью. Предпочтительными районами кормления большеглазого тунца являются акватории с температурами 8–15°C, расположенными недалеко от критического (смертельного) порога температуры для данного вида. По последним данным, большеглазый тунец в гавайских водах часто кормится в течение нескольких дней на глубине 350–500 м, где диапазон температур воды равен 8–10°C [73]. Рыба может находиться там до тех пор, пока температура тела не упадет до критической – 17°C (это явление происходит после 45 минут). После этого животное должно подняться и плавать в теплых водах (глубина 50–150 м), прежде чем вновь вернуться на глубину. Такое поведение показывает, что при снижении температуры тела большеглазого тунца до критической, он совершает вертикальные миграции, чем обеспечивает себе оптимальные условия существования.

Большеглазый тунец питается разнообразными животными. Особенно большое значение в пище этого вида имеют глубоководные и полу глубоководные рыбы – живоглоты, алепизавры, веретенники, гемпиловые, а также кальмары, пелагические осьминоги, крупные креветки.

Тунец полосатый / *Katsuwonus pelamis*.

Полосатый тунец или скипджек имеет тело в форме ромба, длинное и круглое. Два спинных плавника разделены узким промежутком. Это самый мелкий из тунцов открытого океана. Он лишь в редких случаях достигает длины 108 см и веса 34,5 кг (обычные размеры не превышают 50–60 см при весе 3–5 кг). Однако вследствие его огромных промысловых запасов вылов полосатого тунца доминирует над другими видами. Тело рыбы не имеет чешуи, кроме груди и органов боковой линии. У этой рыбы вдоль тела проходит несколько полос (4–6 чёрных), коричневатых в верхней части туловища и пепельно-голубых на серебристом брюхе (рис. 3.2 в).

Диапазон температур существования полосатого тунца находится в интервале от 14,7 °C до 30 °C. Для его личинок необходима температура не менее

25 °С. Наибольшее скопление взрослых рыб находится вблизи 20 °С изотермы [54, 80]. Половозрелости полосатый тунец достигает при достижении длины около 40 см, примерно, на втором-третьем году жизни. Нерест продолжается в течение всего года. Максимум нерестовой активности отмечается с ноября по май. Индивидуальная плодовитость особи колеблется от 100 тыс. икринок при длине 40 см до 2 млн. при длине 75 см. Личинки полосатого тунца встречаются во всей тропической зоне, до 36° ю.ш. в восточной части океана и до 30 ° ю.ш. в западной части. Темп роста данного вида тунцов достаточно высок и составляет от 8 до 11 см в год. Обычно к концу первого года жизни этот вид достигает длины 34 см, к концу второго года 52 см; третьего – 58 см [40]. Полосатый тунец питается рыбой, ракообразными и моллюсками. Основную часть рациона этого вида составляют рыбы. В западных водах Тихого океана движение и концентрация полосатого тунца связана с температурой гидрофронта. В течение дня они распределены от поверхности до глубины около 260 м, ночью поднимаются ближе к поверхности воды.

Весьма важно, что тунцы очень чутко реагируют на изменение температуры воды, причем для каждого их вида существует оптимальный температурный режим обитания (рис. 3.7) [9, 40, 92]. Аналогичным образом тунцы реагируют на изменение солености и прозрачности воды. Оптимальная соленость воды для них составляет 35,5 ‰, а прозрачность 25–30 м [9].

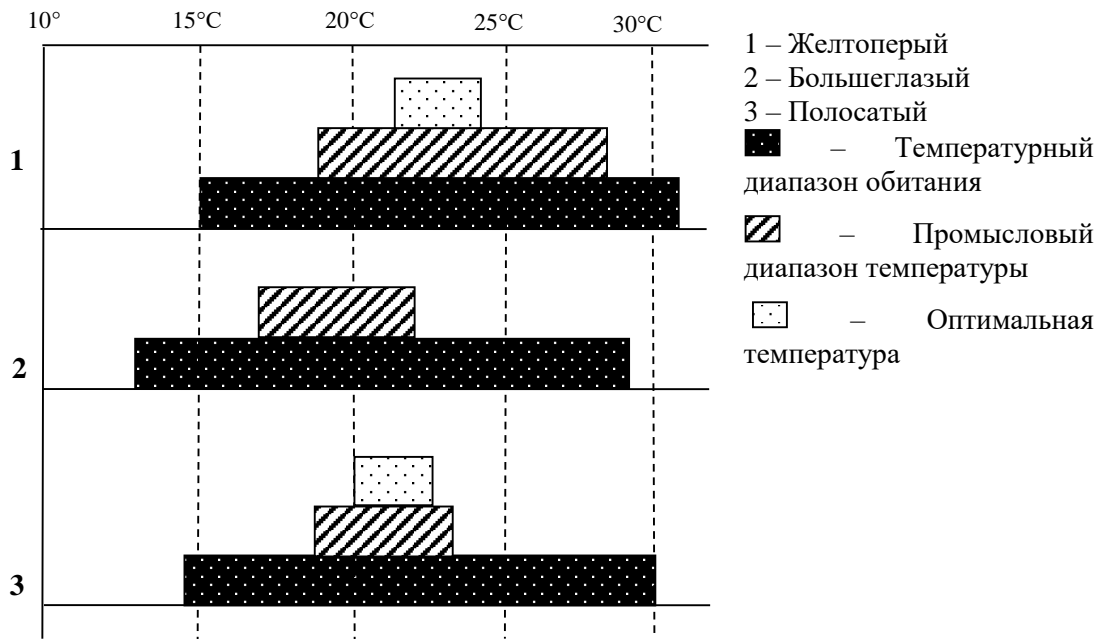


Рис. 3.7. Температурный диапазон обитания отдельных видов тунцов.

3.2. Особенности распространения тунца по акватории Южно-Китайского моря

В Южно-Китайском море наибольшие промысловые запасы отмечаются для 2 видов пелагических тунца: желтоперого и большеглазого. Зрелый желтоперый тунец преимущественно обитает (до 60–80 % времени) в самом теплом слое. Несозревшие тунцы находятся в слое воды, где температура на 8 °C ниже по сравнению с температурой поверхностных вод. Медленное течение влияет на направление и скорость передвижения рыб (от 72 до 154 см/с) [83, 89].

Главным фактором, влияющим на распределение и миграции тунца, является температура воды. Но поскольку количественных оценок непосредственно для ЮКМ нет, то обратимся к результатам, полученным для желтоперого и большеглазого тунца для различных близлежащих районов Тихого океана (табл. 3.2) [77, 83, 89]. Согласно данным табл. 3.2, желтоперый тунец более теплолюбивая рыба, обитающая преимущественно в поверхностном слое моря по сравнению с большеглазым тунцом.

Некоторые показатели, характеризующие появление промысловых скоплений желтоперого и большеглазого тунца для тропических районов Тихого океана [91]

Объект лова	Температурный диапазон обитания и оптимальная температура, °С	Глубина обитания	Районы скопления в поверхностном слое	Пища	Оптимальный режим обитания в течение суток
Желтоперый тунец (<i>Thunnus albacores</i>)	18–31 24–28	0–120 м	Слой воды с температурой > 27 °С	Ракообразные (<i>Engraulidae</i>). Головоногие (<i>Cephalopod</i>). Анчоус (<i>Encrasicholina punctifer</i>)	Ночь
Большеглазый тунец (<i>Thunnus obesus</i>)	13–29 17–22	50–350 м	Температурный фронт в циркуляционном (круговом) течении		День и ночь

Указанные температурные условия отмечаются главным образом в районе с координатами: 6–17° с. ш. и 107–117° в.д. с двумя островами Парасельского (Хоангса) и Спартли (Чьонгса), принадлежащими Вьетнаму. Именно в этом районе преимущественно осуществляется промысел рыбы вьетнамскими судами (рис. 3.8). Благоприятная температура воды распределяется по сезонам – от начала осени до зимы и конец весны [69].

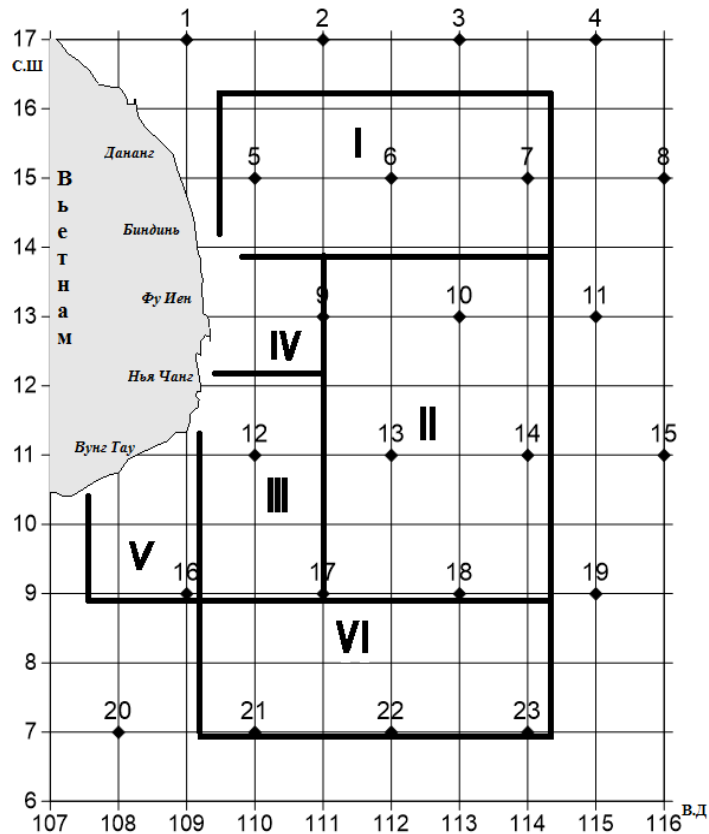


Рис. 3.8. Основные районы промысла тунца: I – Хоангса (Парасельские острова); II – Чыонгса (Острова Спратли); III – Фукуй; IV – Фуниен; V – Вунгтау; VI – южная часть Южно-Китайского моря [92]. Квадратиками обозначены узлы географической сетки, в которых выбирались данные по температуре воды.

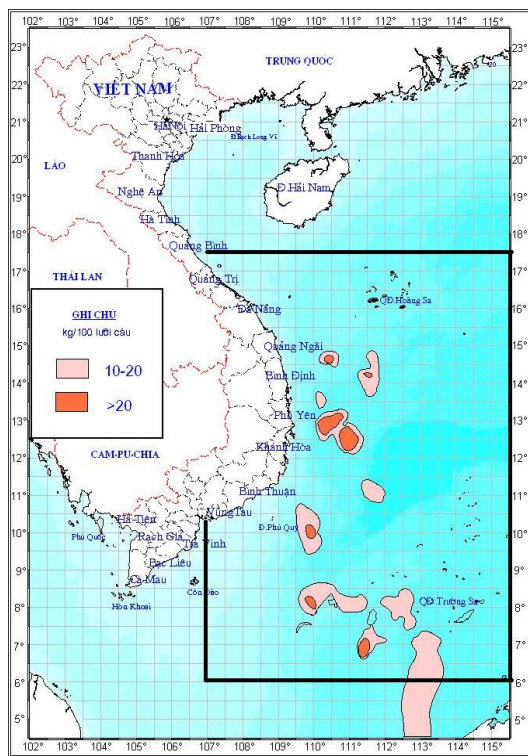
На рис. 3.8 район промысла I (Хоангса) представляет северную часть ЮКМ, промысловые районы II, III, IV и V представляют собой центральные районы моря Вьетнама и район VI представляет собой южную зону у побережья моря Вьетнама.

Промысловый опыт рыбаков свидетельствует о том, что первоначальный район скопления тунца находится на севере и в прибрежных водах, затем он сдвигается к югу и далеко от берега, причем самый эффективный промысел отмечается в апреле и мае [90].

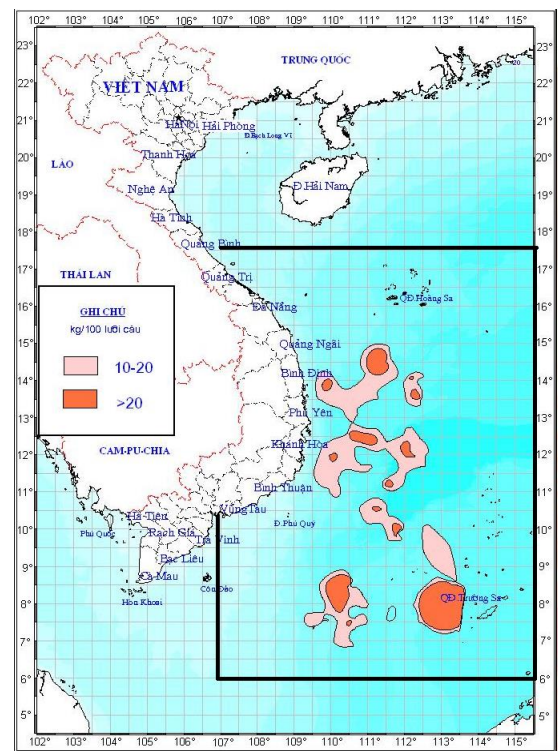
Как следует из результатов исследований морского научно-исследовательского института рыболовства Вьетнама, район ярусного промысла тунца может быть разделен на две зоны в соответствии характером муссонной деятельности. Во время северо-восточного муссона, когда промысел идет с октября по март, тунец распределяется в основном в северной части ЮКМ и вблизи Парасельских островов (12°00 N - 17°00 N и от 110°00 E - 115°30E). Распределение

промысловых районов для этого сезона представлено на рис. 3.9а. Во время юго-западного муссона (с апреля по сентябрь), тунец распределяется в южной части ЮКМ и у острова Спратли (от $6^{\circ}00' N$ - $11^{\circ}30' N$ и от $108^{\circ}00' E$ - $114^{\circ}00' E$), (рис. 3.9,б) [89, 95].

Зоны промысла большеглазого и особенно желтоперого тунца сконцентрированы в трех главных районах: оффшор провинции Фуьен, координаты ($110^{\circ}30' E$ - $112^{\circ}00' E$, $12^{\circ}00' N$ - $13^{\circ}30' N$), в морском районе провинции Кхань Хоа ($110^{\circ}00' E$ - $112^{\circ}00' E$, $12^{\circ}00' N$ - $13^{\circ}00' N$) и на западном побережье островов Спратли ($11^{\circ}00' E$ - $112^{\circ}00' E$, $8^{\circ}00' N$ - $10^{\circ}00' N$). В других районах вылов тунца имеет ограниченный характер [95].



а) северо-восточный муссон
(октябрь-март)



б) юго-западный муссон (апрель-сентябрь)

Рис. 3.9. Распределение районов промысла тунца в Южно-Китайском море [95].

Рассмотрим более подробно распределение тунца по месяцам года. В октябре промысловые запасы тунца малы и они в основном сосредоточены на юге ЮКМ ($7^{\circ}00' N$ - $10^{\circ}00' N$, $110^{\circ}00' E$ - $115^{\circ}30' E$). В ноябре тунец распределяется уже на более обширной акватории ($9^{\circ}00' N$ - $16^{\circ}30' N$, $110^{\circ}00' E$ - $115^{\circ}00' E$), вылов его резко

возрастает, особенно вблизи Парасельских островов. В декабре тунец широко распространен и охватывает практически весь промысловый район ЮКМ с очень большим промысловым запасом. В январе промысловые запасы тунца значительны, но сосредоточены в основном в северном районе и вокруг Парасельских островов ЮКМ (13°00 N - 17°00 N, 111°300 E - 116°30E). В феврале промысловые запасы тунца уменьшаются, но зато они относительно равномерно распределены по всей акватории ЮКМ. В марте тунец преимущественно распределяется в северном районе ЮКМ. В апреле он имеет небольшие запасы и равномерно распределяется по акватории ЮКМ. В мае тунец распространен в основном в северном районе ЮКМ. Наконец, с июня по сентябрь, тунец равномерно распределяется по всем районам ЮКМ. Вследствие этого именно в эти месяцы вылов рыбы возрастает (рис. 3.10). Максимальный вылов отмечается в сентябре, когда этому дополнительно способствуют погодные условия. Меньше всего рыбы добывается в ноябре-декабре.

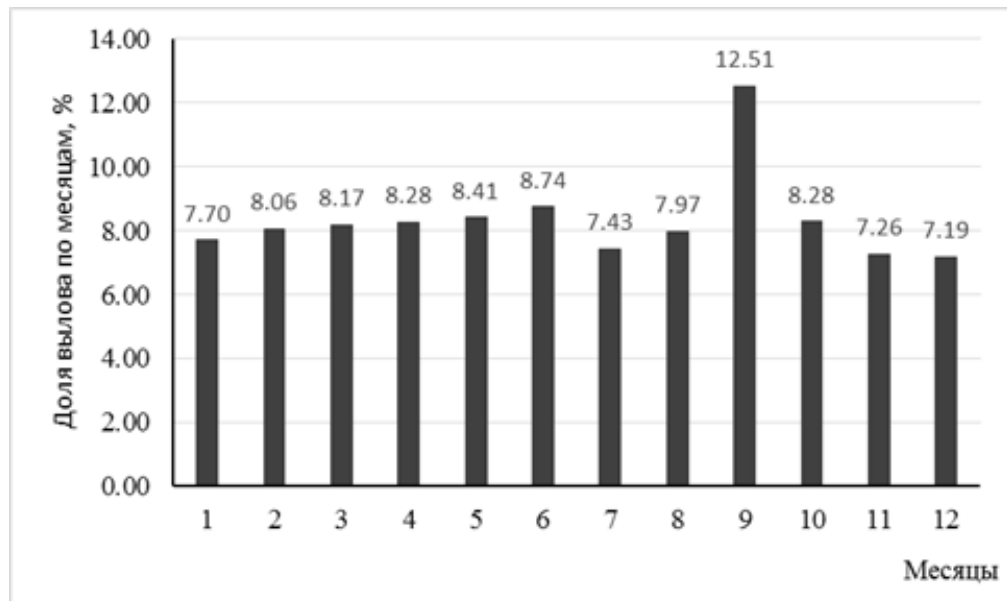


Рис. 3.10. Сезонная изменчивость вылова тунца вьетнамскими судами в Южно-Китайском море в процентах от среднегодового улова.

Размеры выловленного тунца очень сильно зависят от сезона года и района промысла. Для желтоперого тунца длина изменяется в диапазоне от 51 ÷ 162 см, в

среднем $93,8 \div 112,9$ см. Для большеглазого тунца пойманная длина колеблется от $43 \div 145$ см, в среднем $89,7 \div 92,5$ см.

На третьем месте по вылову находится полосатый тунец. Районы его промысла весьма заметно меняются по сезонам. Во время юго-западного муссона тунец сосредоточен в прибрежных водах вдоль от провинции Кханьхоа и Бинь Динь по направлению к юго-восточному побережью острова Фу Куи. Во время северо-восточного муссона полосатый тунец сосредоточен в северных водах от Фу Йен до северной части Ниньтхуан и морского района Биньтхуан.

Достаточно очевидно, что из всего множества абиотических (внешних) факторов, влияющих на формирование биомассы и распределение тунца, определяющим является температура воды.

3.3. Влияние температуры воды на биологическую продуктивность Южно-Китайского моря

Как известно, из большого числа абиотических факторов наибольшее влияние на биологическую продуктивность имеет температура воды, воздействие которой на жизнедеятельность морских организмов исключительно многогранно [МЧГ]. Температура воды может ускорять или замедлять рост численности отдельных видов и даже приводить к массовой гибели организмов. В связи с этим Научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства Вьетнама проделана огромная многолетняя работа по оценке влияния различных характеристик температуры воды на изменения параметров биопродуктивности [73]. Район исследования был ограничен широтно-долготной зоной $6-17^\circ$ с.ш., $107-117^\circ$ в.д с пространственным разрешением $0,5^\circ$ по широте и долготе.

В указанном районе выполнялись экспедиционные наблюдения за глубоководной температурой воды в течение 1990-2009 гг. Всего было выполнено более 50000 гидрологических станций. Эти данные, представлены в океанологической базе данных Центра гидрометеорологической динамики и океанографии, в Институте естественных наук, в Ханойском Национальном университете. Кроме того, эти данные также представлены в мировой системе

данных Oseandatabase. Одновременно выполнялись измерения биопараметров в узлах сетки 0,5 градусов. Всего таких станций было выполнено около 15000. Эти данные, представленные в базе оффшорного рыболовства Исследовательского института морепродуктивности, позволили оценить различные виды биомассы фито- и зоопланктона, а также некоторые характеристики первичной и вторичной продукции в слое фотосинтеза.

Значения температуры воды были разделены на 18 показателей, которые представлены в табл. 3.3. Очевидно, указанный набор показателей практически исчерпывающим образом характеризует термические условия деятельного слоя моря.

Таблица 3.3

Характеристики температуры воды и биологической продуктивности моря [92]

№	Параметр	Размерность	Название компонентов
1	T_0	°С	Температура поверхности морской воды
2	ΔT_0	°С	Аномалии температуры поверхности моря
3	H_0	м	Толщина верхнего однородного слоя
4	T_1	°С	Температура нижней границы слоя скачка
5	H_1	м	Глубина нижней границы слоя скачка
6	$H_1 - H_0$	м	Толщина слоя скачка
7	Grad Tz	°С/м	Средний градиент температуры в слое скачка
8	H_{15}	м	Глубина изотермы 15 °С
9	H_{20}	м	Глубина изотермы 20 °С
10	H_{24}	м	Глубина изотермы 24 °С
11	H_{20-15}	м	Толщина слоя между изотермами 15-20 °С
12	H_{24-20}	м	Толщина слоя между изотермами 20-24 °С
13	Grad T_0	°С /10км	Максимальный горизонтальный градиент температуры поверхностного слоя воды
14	Grad T_{25}	°С /10км	Максимальный горизонтальный градиент температуры в слое 0-25 м
15	Grad T_{50}	°С /10км	Максимальный горизонтальный градиент температуры в слое 0-50 м

16	Grad T_{75}	°C /10км	Максимальный горизонтальный градиент температуры в слое 0-75 м
17	Grad T_{100}	°C /10км	Максимальный горизонтальный градиент температуры в слое 0-100 м
18	Grad T_{150}	°C /10км	Максимальный горизонтальный градиент температуры в слое 0-150 м
19	TV	мг/ м ³	Средняя биомасса фитопланктона в слое фотосинтеза
20	DV	мг/ м ³	Средняя биомасса зоопланктона в слое фотосинтеза
21	$ToTV$	г/ м ²	Суммарная биомасса фитопланктона в водной колонке 1 м ² слоя фотосинтеза
22	$ToDV$	г/ м ²	Суммарная биомасса зоопланктона в водной колонке 1 м ² слоя фотосинтеза
23	$NSSC$	мгС/м ³ /день	Средняя первичная продукция в слое фотосинтеза
24	$NSTC$	мгС/м ³ /день	Средняя вторичная продукция в слое фотосинтеза
25	$ToNSC$	гС/м ² /день	Суммарная первичная продукция в водной колонке 1 м ² слоя фотосинтеза
26	$ToNTC$	гС/м ² /день	Суммарная вторичная продукция в водной колонке 1 м ² слоя фотосинтеза

Результат исследования 26 основных гидробиологических и термических факторов были разделены на 3 однородные группы. Первая группа (1-12) включала все компоненты температурной структуры моря, которые определялись по стандартной методике, принятой в океанологии [97, 98]. Во вторую группу (13-18) входили оценки различных пространственных градиентов температуры для 16 основных направлений и отбор их максимальных значений [92]. Третья группа (19-26) включала компоненты биологической продуктивности планктона и зоопланктона, которые рассчитывались на основе уравнения баланса азота [71, 72, 93]. При этом основное уравнение модели имело вид: $dC^i/dt = Prod^i - Dest^i$, $i=1..7$ (где C^i - концентрация (биомасса) i -й компоненты; $Prod^i$, $Dest^i$ – соответственно

общая скорость процесса увеличения и снижения концентрации (биомассы) i -й компоненты.

Полученные оценки показателей термических условий и характеристик биологической продуктивности вод моря позволили рассчитать между ними коэффициенты корреляции за период 1990-2009 гг., оценки которых приводятся в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Распределение выборочных коэффициентов корреляции между показателями термических условий и характеристиками биопродуктивности вод моря. Критическое значение коэффициента корреляции при $\alpha=0,05$ $r_{кр}=0,42$

Параметр	<i>TV</i>	<i>DV</i>	<i>NSSC</i>	<i>NSTC</i>	<i>ToTV</i>	<i>ToDV</i>	<i>ToNSC</i>	<i>ToNTC</i>
T_0	-0.43	-0.43	-0.52	-0.53	-0.47	-0.59	-0.6	-0.63
ΔT_0	-0.2	-0.24	-0.3	-0.31	-0.21	-0.31	-0.32	-0.35
H_0	-0.51	-0.46	-0.56	-0.55	-0.55	-0.61	-0.62	-0.63
T_1	0.05	0.09	0.12	0.12	0.04	0.1	0.12	0.13
H_1	-0.23	-0.2	-0.23	-0.21	-0.23	-0.23	-0.24	-0.23
$H_1 - H_0$	-0.11	-0.09	-0.1	-0.08	-0.1	-0.08	-0.1	-0.08
Grad T_z	-0.06	-0.14	-0.16	-0.2	-0.06	-0.19	-0.17	-0.22
H_{15}	-0.37	-0.19	-0.16	-0.13	-0.38	-0.2	-0.16	-0.12
H_{20}	-0.73	-0.48	-0.56	-0.5	-0.8	-0.65	-0.63	-0.57
H_{24}	-0.80	-0.70	-0.87	-0.83	-0.84	-0.89	-0.94	-0.94
H_{20-15}	0.15	0.17	0.26	0.25	0.19	0.28	0.31	0.31
H_{24-20}	0.21	0.33	0.45	0.48	0.20	0.39	0.48	0.52
Grad T_0	0.18	0.16	0.21	0.2	0.16	0.16	0.21	0.2
Grad T_{25}	0.41	0.38	0.43	0.42	0.34	0.34	0.4	0.39
Grad T_{50}	0.09	0.08	0.04	0.03	0.02	-0.02	-0.01	-0.03
Grad T_{75}	-0.23	-0.24	-0.28	-0.29	-0.21	-0.25	-0.28	-0.29
Grad T_{100}	-0.24	-0.26	-0.27	-0.27	-0.18	-0.21	-0.23	-0.24
Grad T_{150}	0.04	-0.03	0.07	0.05	0.19	0.19	0.18	0.17

Предварительно отметим, что все характеристики биопродуктивности тесно связаны друг с другом, корреляция между ними не опускается ниже $r=0,85$. Как видно из табл. 3.4 максимальная корреляция всех параметров биопродуктивности отмечается для глубины изотермы 24 °C ($r=|0,70-0,94|$). Второй по значимости является глубина изотермы 20 °C. Значимая на уровне $\alpha=0,05$ корреляция ($r_{кр}=-0,42$) отмечается также с толщиной верхнего однородного слоя воды и температурой поверхности моря. Со всеми указанными параметрами корреляция оказывается

отрицательной. Это означает, что с углублением изотерм 20 и 24 °С, увеличением толщины квазиоднородного слоя и ростом температуры поверхности моря все характеристики биопродуктивности должны уменьшаться. В тоже время, характеристики биопродуктивности слабо реагируют на изменчивость толщины слоя между изотермами 20 и 24 °С ($r=0,20-0,52$). Отметим также, что температурный диапазон 20–24 °С является оптимальным в распределении тунца.

Итак, несомненно доминирующее влияние различных характеристик температуры воды на все параметры биологической продуктивности ЮКМ, из которых наиболее важной следует считать глубину изотермы 24 °С.

3.4. Пространственно-временная изменчивость глубины изотермы 24 °С

Прежде всего, рассмотрим среднемноголетнее распределение глубины изотермы 24 °С (H_{24}) для центральных месяцев календарных сезонов года (рис. 3.11-3.12). Обращает на себя внимание значительная пространственная дифференциация значений H_{24} , как в зональном, так и меридиональном направлениях. Минимальные значения H_{24} в течение всего года отмечаются в прибрежной полосе Вьетнама. Абсолютный минимум H_{24} наблюдается в июле, приурочен к прибрежной полосе между 15.5-17° N и составляет 42 м (рис.3.11.б). В этой же полосе максимум H_{24} отмечается в январе и равен 76 м, т.е. глубина H_{24} увеличивается в 2 раза. Абсолютный максимум H_{24} имеет место в январе на крайнем юге ЮКМ, когда она составляет 101 м (рис.3.11.а). Основными факторами формирования изменчивости глубины H_{24} являются особенности распределения по акватории моря составляющих теплового баланса и циркуляция водных масс.

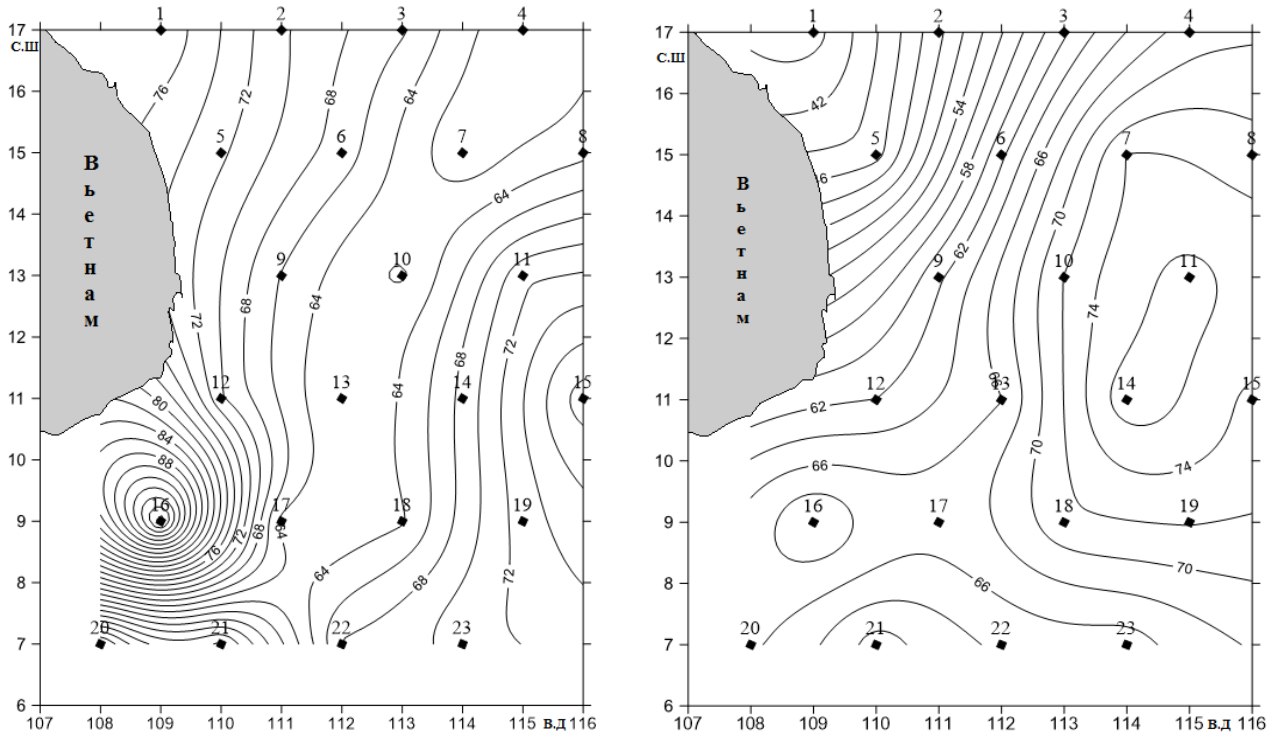


Рис. 3.11. Среднегодовое распределение глубины (м) изотермы 24 °С в январе (слева) и апреле (справа) за период 1980-2008 гг.

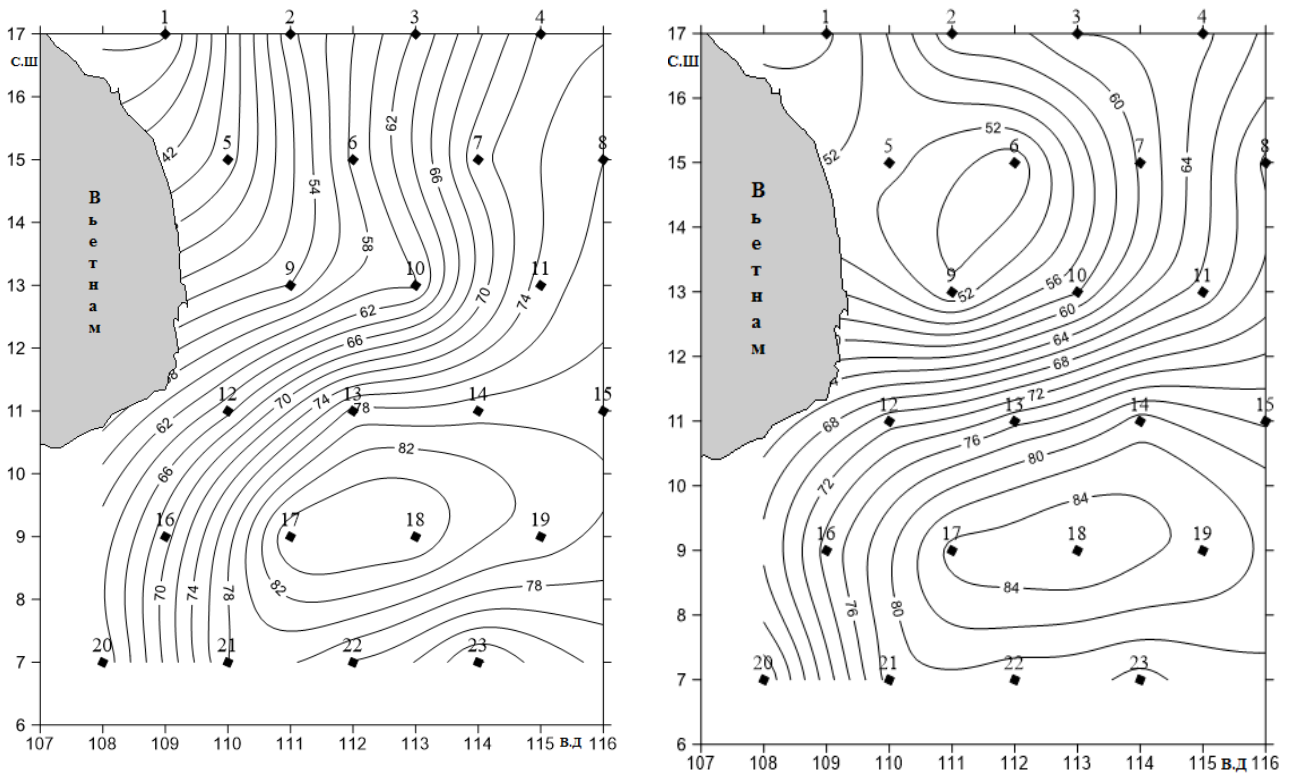


Рис. 3.12. Среднегодовое распределение глубины (м) изотермы 24 °С, в июле (слева) и октябре (справа) за период 1980-2008 гг.

Для более подробного анализа пространственно-временных закономерностей глубины изотермы H_{24} использован глубоководный архив CARTON-GIESE SODA (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p0p2-4>), который содержит данные о среднемесячных значениях температуры воды до глубины 5474 м [68]. В рассматриваемом районе были выбраны значения температуры воды в узлах двухградусной сетки от поверхности (5 м) до дна за период 1980-2008 гг. Всего таких узлов было 23 (рис. 3.9). Глубина залегания изотермы $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ определялась линейной интерполяцией между соответствующими горизонтами.

На рис. 3.13 дается пространственное среднегодовое (1980-2008 гг.) распределение глубины изотермы $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нетрудно видеть, что H_{24} плавно возрастает от 51 м на крайнем северо-западе района до 76-78 м в его южной части на широте 9° с.ш. Далее на юг H_{24} начинает уменьшаться.

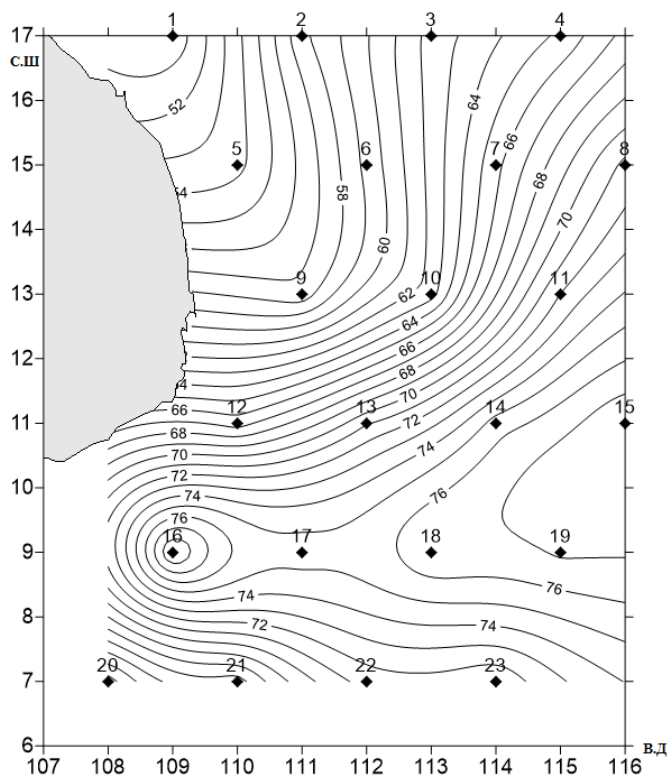


Рис. 3.13. Пространственное распределение среднегодовой глубины изотермы $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ за многолетний (1980-2008 гг.) период времени в метрах.

Значительно более сложный характер свойствен сезонным изменениям среднегодовых месячных значений H_{24} . Так, для большинства точек практически отсутствует годовой ход H_{24} . Он присутствует лишь в трех точках (1,

2 и 12), в которых максимум H_{24} наблюдается в декабре, а минимум – в июне. При этом максимальная внутригодовая амплитуда изменений H_{24} отмечается в точке 1 ($R_{max} - R_{min} = 82,7 - 33,2 = 49,5$ м). Случайный характер колебаний H_{24} обусловлен тем, что максимальные и минимальные значения H_{24} могут встречаться в любой сезон года. Абсолютный максимум H_{24} отмечается в январе в точке 17 (101,4 м), а абсолютный минимум – в июне в точке 1 (33,2 м).

Учитывая сравнительно небольшую длину временных рядов H_{24} ($n=29$), расчет циклических колебаний нецелесообразен, поэтому был выполнен расчет только линейных трендов для всех точек выбранной акватории. Пространственное распределение угловых коэффициентов тренда (Tr) представлено на рис. 3.14. Как видно из рис. 3.14 все тренды являются положительными, т.е. отмечается тенденция к углублению изотермы $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. В южной части района они отсутствуют. Максимальные значения Tr приурочены к мелководной северо-западной части района. При этом значимые тренды, т.е. отклоняющиеся от нуля неслучайным образом, свойственны величине $Tr \geq 0,35$.

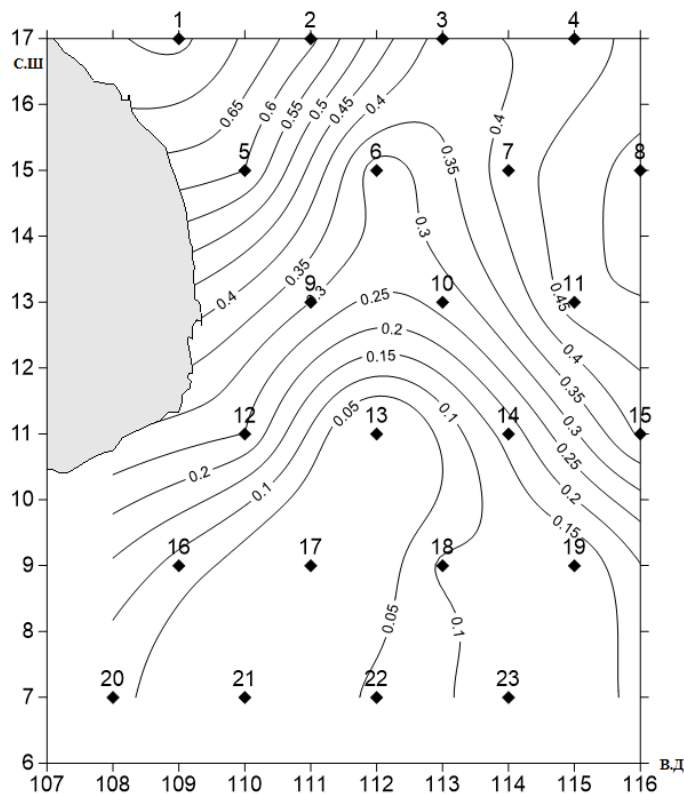


Рис. 3.14. Пространственное распределение угловых коэффициентов линейного тренда глубины залегания изотермы $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ в м/год.

Итак, можно сделать вывод, что в северной части района в рассматриваемый период времени отмечалась тенденция к уменьшению биопродуктивности вод моря.

С целью более детального изучения пространственно-временной структуры матрица средних годовых значений H_{24} размером 23x29 была подвергнута классическому факторному анализу. Анализ собственных чисел показал, что можно ограничиться первыми пятью факторами, которые описывают 79 % дисперсии исходного поля. В табл. 3.5 дается вклад отдельных собственных чисел (факторов) в дисперсию поля H_{24} после второго ортогонального вращения методом варимакс Кайзера, которое частично перераспределило дисперсию между факторами. В результате четвертый фактор стал вторым, а третий – пятым. Именно поэтому между факторами не очень существенные различия.

Таблица 3.5

Оценка вкладов первых пяти факторов в дисперсию поля глубины изотермы 24 °С

Номер	Собственное число	Вклад собственного числа в дисперсию поля H_{24} , %	Суммарный вклад собственных чисел в дисперсию поля H_{24} , %
1	4,20	18,2	18,2
2	3,84	16,7	34,9
3	3,63	15,8	50,7
4	3,54	15,4	66,1
5	3,02	13,1	79,2

Результаты факторного анализа позволяют выполнить районирование рассматриваемого региона ЮКМ в пространстве факторных нагрузок. Для этого в матрице 5×23 ($k \times m$) последовательно выбиралась каждая строка, состоящая из 5 чисел, и на ней фиксировалась максимальная факторная нагрузка (ФН). Так как число строк соответствует числу выделенных узлов на акватории, то получаем набор из m максимальных ФН. Отметим, что эти нагрузки превышали величину 0,60, обычно принимаемую в качестве порогового значения ФН. Если теперь нанести полученные результаты на карту, то получаем разбиение заданной

акватории на k классов. При условии территориальной связности точек число выделенных классов должно соответствовать числу квазиоднородных районов.

Результаты районирования рассматриваемой акватории ЮКМ представлены на рис. 3.15. Номер района соответствует номеру фактора (собственного числа). Как и следовало ожидать, наибольшую площадь занимает первый район, для которого характерна наиболее высокая межгодовая изменчивость значений H_{24} . Самый маленький третий район служит буферной зоной между первым и вторым районами.

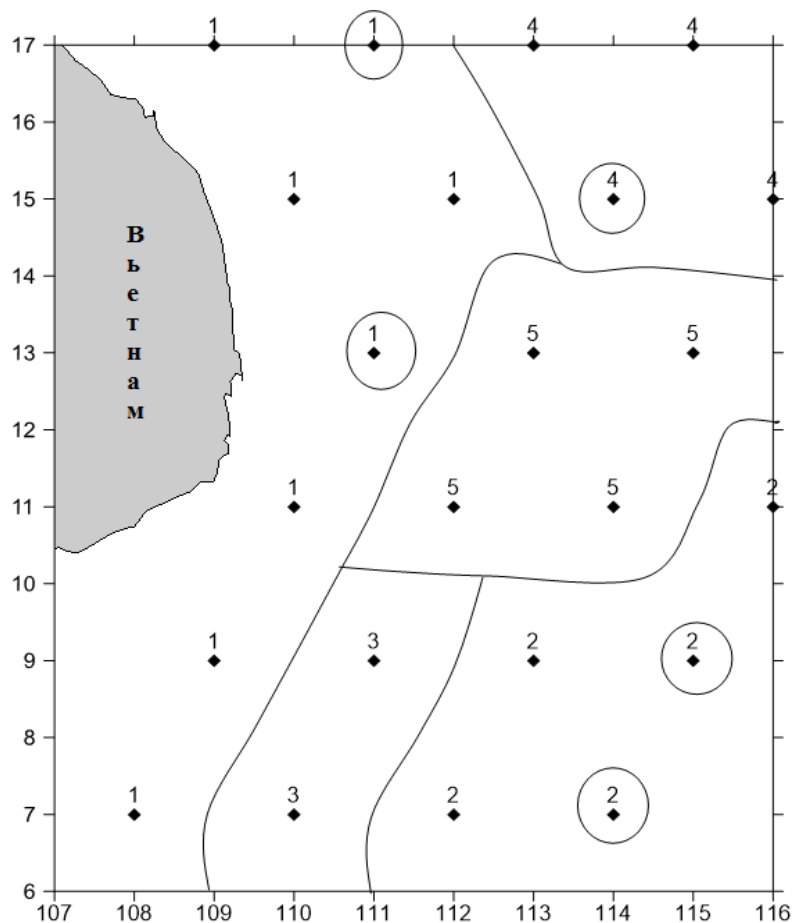


Рис. 3.15. Районирование центральной части акватории Южно-Китайского моря методом факторного анализа. Кружками обозначены реперные точки, в которых временные ряды по температуре поверхности моря сформировали оптимальную модель МЛР по вылову тунца.

3.5. Статистическая модель вылова тунца по данным температуры воды поверхностного слоя моря

Температура поверхностного слоя моря (ТПМ) является одним из важных факторов, влияющим на биопродуктивность и распределение тунца. В среднем в

течение года ТПМ в ЮКМ варьирует в диапазоне 26-29 °С (табл. 3.6). Во время юго-западного муссона (апрель-сентябрь) она почти не меняется и колеблется около отметок 28,4-29,3 °С. С началом северо-восточного муссона, когда начинает дуть прохладный ветер с материка, ТПМ начинает уменьшаться и достигает минимальных значений в декабре-январе (26 °С). Если максимальная ТПМ в течение года меняется мало, то минимальная ТПМ резко повышается от марта к маю на 4,4 °С. Годовой размах колебаний ТПМ (разность максимальной и минимальной температур воды) минимален в мае-июне (3,2-3°С), а максимален в ноябре-феврале (30-30,4 °С). Отметим, что для периода времени с ноября по март минимальная температура поверхности моря опускается ниже 24 °С, что относится к неблагоприятным условиям жизнедеятельности тунца [54].

Таблица 3.6

Сезонный ход среднемесячных среднеголетних значений температуры поверхности моря.

Температура	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Максимальная	28.5	30.4	29.2	30.5	31.2	30.8	30.0	31.0	30.6	30.8	30.0	29.9
Средняя	26.0	26.0	26.8	28.4	29.4	29.3	28.8	28.7	28.9	28.4	27.6	26.5
Минимальная	23.0	23.3	23.6	26.2	28.0	27.8	25.7	27.0	25.1	26.4	23.0	22.9

Хотя глубина изотермы H_{24} наилучшим образом характеризует биопродуктивность вод моря, однако ее доступность и особенно оперативность получения создают затруднения в мониторинге и предсказании биопродуктивности. С этой точки зрения наибольшего внимания заслуживает температура поверхности моря, которая определяется с высокой точностью, доступна почти в режиме он-лайн и имеет значимую корреляцию как с характеристиками биопродуктивности, так и с H_{24} . В связи с этим рассмотрим возможность построения статистической модели вылова тунца по данным о поверхностной температуре воды.

Температура поверхности моря бралась из архива NOAA NCDC ERSSTv4 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version4/.SST>), в котором синтезируются данные о температуре поверхности моря (ТПМ) со всех

надводных систем наблюдения, кроме спутниковых измерений. Шаг сетки этого архива составляет 2 градуса по широте и долготе, а продолжительность наблюдений – с 1854 г. по настоящее время [78].

В результате были сформированы временные ряды среднегодовых значений T_0 в 23 точках акватории ЮКМ за период 2000-2014 гг., соответствующий данным суммарного годового вылова тунцов вьетнамскими траулерами [70]. Итак, исходная модель имела вид:

$$V = f(b_j; T_{0j}), \text{ где } j = 1 \dots m \ (m=23) \quad (3.1)$$

Неизвестные коэффициенты b_j определялись методом включения переменных в пошаговой процедуре модели множественной линейной регрессии (МЛР). Уже первая переменная в модели (16.5° с.ш., 108.5° в.д.) имеет коэффициент детерминации $R^2=0,58$ и стандартную ошибку 12501 тонн (табл. 3.7). Оптимальной принята модель с пятью переменными, распределение которых дано на рис. 3.15. Нетрудно видеть, что они равномерно размещаются по акватории моря. Оптимальная модель вылова тунца (табл. 3.7) имеет высокий коэффициент детерминации ($R^2=0.86$), малую среднеквадратическую ошибку (6743 тонн или 13 %), значимые критерии Фишера и Стьюдента (p-level).

Таблица 3.7

Статистические параметры модели множественной линейной регрессии суммарного годового вылова тунца от температуры поверхности моря

Шаг модели	Коэффициент детерминации	Среднеквадратическая ошибка вылова тунца	Критерий Фишера	Максимальный p-level
1	0.58	12501	17.7	0.000
3	0.77	7971	12.0	0.002
5	0.86	6743	11.3	0.040

Сопоставление фактических и вычисленных по модели МЛР значений годового вылова тунца приводится на рис. 3.16. Нетрудно видеть очень хорошее соответствие фактических и вычисленных значений вылова рыбы. Максимальная ошибка отмечается в 2000 году, когда она заметно превышает

среднеквадратическое отклонение вылова тунца. В остальные годы расхождения невелики. Хотя данная модель является диагностической, однако, учитывая длительный процесс обработки данных по вылову рыбы, она может использоваться для предварительного прогноза вылова тунца.

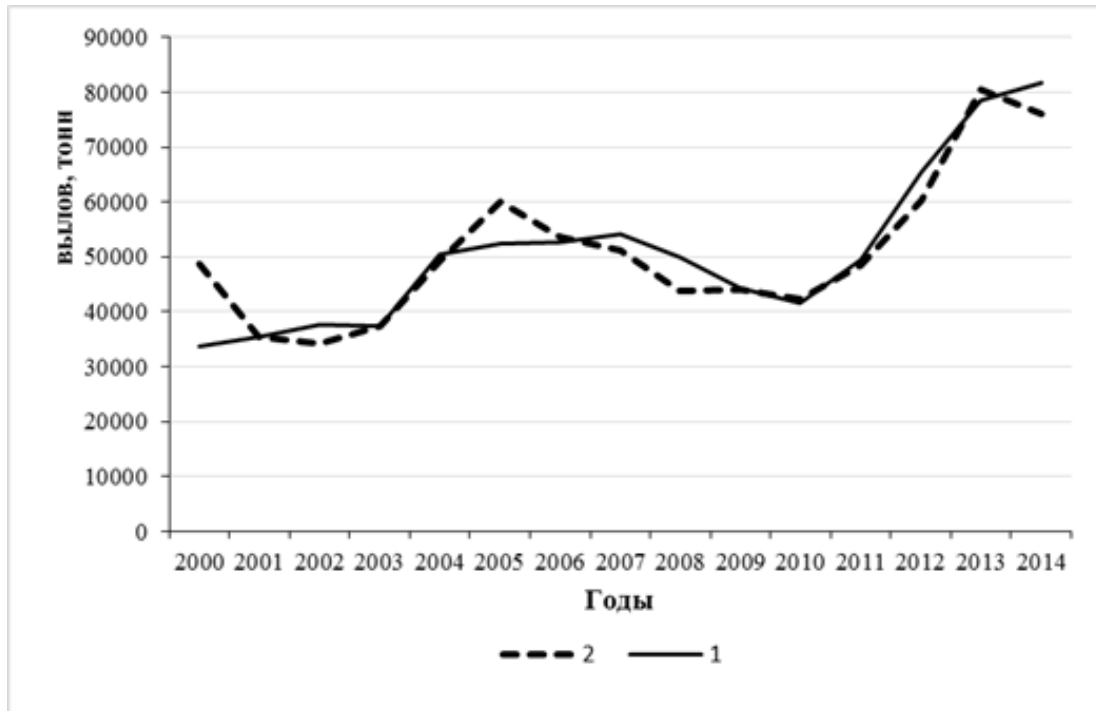


Рис. 3.16. Сопоставление фактических (1) и вычисленных (2) по модели МЛР с пятью переменными годовых значений вылова тунца.

Глава 4. Статистическое моделирование и прогнозирование вылова тунца в Южно-Китайском море

4.1. Современное состояние добычи тунца

Рыбная отрасль является одним из важнейших видов морской деятельности. Во многих странах мира она занимает весомое место в продовольственном и промышленном отношении в силу своей природно-экономической и социальной значимости. Действительно, стремительный рост населения планеты, истощение почвенных ресурсов на суше и быстрое ухудшение экологической ситуации придают особое значение обеспечению населения морепродуктами, потенциальные возможности которых не идут ни в какое сравнение с производством продуктов сельского хозяйства.

Чтобы добиться преимущества в экономической области, прибрежные государства стараются развивать рыболовный флот, особенно за пределами шельфа, а также интенсифицировать научные исследования в рыбной области, важными задачами которых являются оценка современного состояния запаса, вылов рыбы и его прогноз.

ЮКМ является очень важным промысловым районом. Его теплые воды способствуют формированию здесь высокой биопродуктивности и значительных промысловых запасов рыбы, а близость береговой зоны и стремительный рост экономики и населения вызывают необходимость наращивания промысловых усилий. Промысел рыбы в ЮКМ ведут 10 ближайших к акватории моря стран (Вьетнам, Камучия, Тайланд, Малайзия, Сингапур, Индонезия, Бруней, Филиппины, Тайвань и Китай), причем особенно сильные рыболовные флоты есть у Вьетнама, Малайзии, Филиппин, Тайваня и Китая.

Поскольку некоторые страны имеют географическое положение (Малайзия, Индонезия, Филиппины, Тайвань и Китай), граничащее с Тихим океаном, то вылов тунца они ведут как в ЮКМ, так и в Тихом океане. Данные прмстатистики содержат оценки суммарного вылова рыбы. Другие страны вообще не ведут мониторинг вылова рыбы. Поэтому в настоящее время практически невозможно

оценить истинные запасы и тем более суммарный вылов тунца всеми странами в ЮКМ. К сожалению, многие региональные рыбохозяйственные организации (например, рыболовные комиссии Центральной и Западной части Тихого океана - WCPFC), которые создавались для того, чтобы управлять и синтезировать информацию в этой области, не обеспечивают полный доступ к данным или вообще их не публикуют.

В связи с этим в данной работе рассматривается только современное состояние промысла тунца вьетнамскими судами в Южно-Китайском море, которое имеет чрезвычайно важное значение для развития экономики и обеспечения морепродуктами населения Вьетнама. При этом именно рыбная отрасль является самым важным видом в системе морской экономики страны. Протяженность береговой линии с севера на юг составляет около 3260 км (от провинции Куанг Нинь к Киен Жанг), что делает рыбный промысел доступным и малозатратным на всей акватории моря.

В последние десятилетия отмечается довольно быстрый прирост народонаселения Вьетнама значительный рост экономики страны. Как следует из табл. 4.1 за период 2000-2014 гг. население возросло примерно на 15 %, а валовый внутренний продукт вырос в 6 раз! Безусловно, по темпам роста экономики Вьетнам относится к лидерам Юго-Восточной Азии. Естественно, столь стремительный рост экономики Вьетнама позволил почти ежегодно наращивать рыбопромысловый флот и его мощности. Из табл. 4.1 видно, что число промысловых судов за рассматриваемый период увеличилось более чем в 3 раза, а их суммарная мощность – более чем в 4 раза!

Из большого числа добываемых в ЮКМ пелагических рыб (южная сельдь, скумбрия, ставрида и др.) безусловным лидером является тунец, вылов которого занимает 1-е место в структуре экспорта морских рыбопродуктов из Вьетнама в более чем 60 стран мира [54]. Отметим, что валовой внутренний продукт рыбной отрасли Вьетнама составлял 3,1-3,7 % от общего валового внутреннего продукта за период 2001-2014 гг. В 2015г. оборот экспорта морепродуктов Вьетнама составил 6,72 миллиардов USD, в том числе оборот экспорта тунца достиг более 408 мил.

USD [100]. В настоящее время пелагический промысел тунца сосредоточен в основном в трех провинциях: Фуйен, Бинь Динь и Кханьхоа.

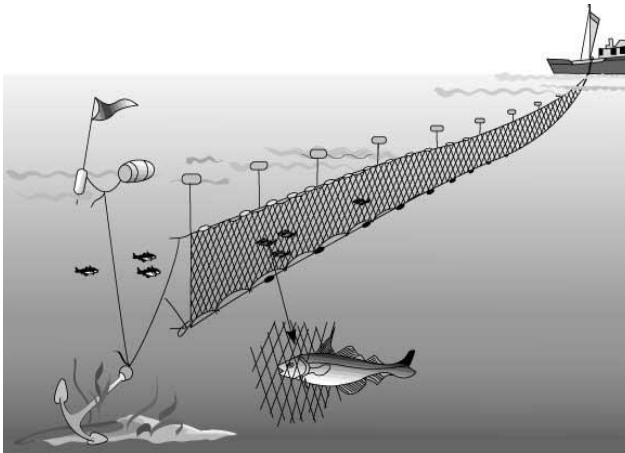
Таблица.4.1

Статистические данные по вылову тунца вьетнамскими промысловыми судами и некоторым экономическим факторам [56, 80,87,99]

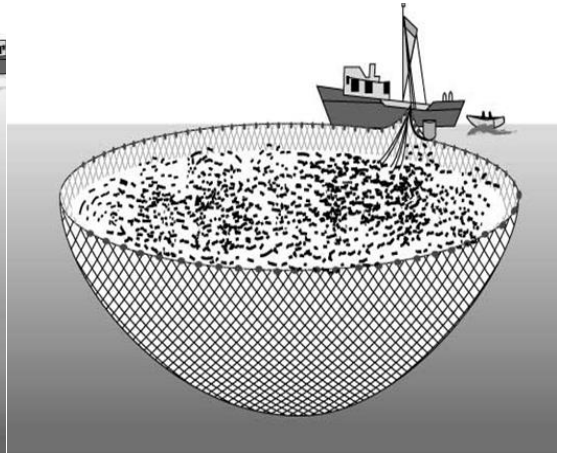
№	Годы	Количество промысловых судов (шт.)	Сумма мощности судов (1000 ЛС)	Вылов тунца (тонны)	Валовой внутренний продукт (млрд. USD)	Количество населения (Чел.)
1	2000	9766	1385.1	33634	31	77630900
2	2001	14326	1613.3	35401	32	78620500
3	2002	15988	1947.5	37685	35	79537700
4	2003	17303	2192.9	37460	39	80467400
5	2004	20071	2641.8	50520	45	81436400
6	2005	20537	2801.1	52409	52	82392100
7	2006	21232	3046.9	52573	60	83311200
8	2007	21552	3051.7	54211	70	84218500
9	2008	22729	3342.1	49903	89	85118700
10	2009	24990	3721.7	44240	91	86025000
11	2010	25346	4498.7	41665	101	86932500
12	2011	23284	4132.7	49586	130	87840000
13	2012	30861	5477.5	65544	152	88775500
14	2013	31571	5603.6	78633	168	90000000
15	2014	32833	5827.7	81778	184	90493300

Для судов Вьетнама, работающих за пределами шельфа, мощность обычно должна быть выше 90 лошадиных сил (ЛС), средняя мощность 140 ЛС, причем в настоящее время у Вьетнама имеется 4159 судов с мощностью более, чем 450 ЛС [87].

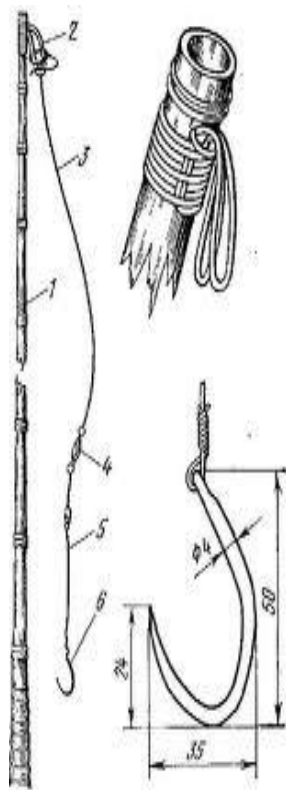
В настоящее время промысел тунца вьетнамскими судами в ЮКМ ведется четырьмя основными способами: это жаберные сети, кошельковый, удебный и ярусный лов (рис. 4.1) [9].



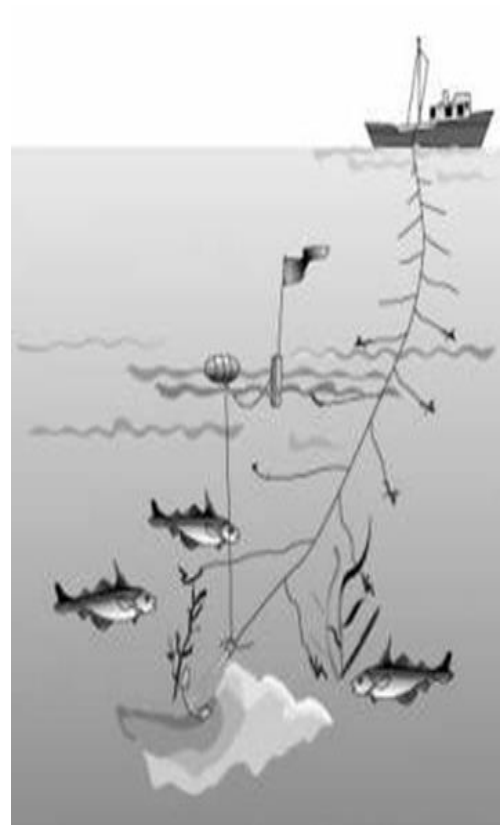
а - Лов жаберной сетью



б - Кошельковый лов



в - Удебный лов



г - Ярусный лов

Рис.4.1. Основные способы лова тунца.

Жаберные сети. Жаберные сети - тип рыболовных плавающих сетей, основанных на принципе блокировки движения рыбы. Жаберные сети широко

применяются от прибрежных вод до оффшорных. Длина жаберных сетей может достигать десятки тысяч метров, высота сетей 15-20 м. Из рис. 4.2 видно, что в настоящее время добыча рыбы по лову жаберных сетей занимает до 50 % от общего вылова тунца, основным объектом лова жаберными сетями является полосатый тунец [70].

Ярусный лов. Одним из основных орудий промышленного лова тунца является в настоящее время ярус. Несущим элементом яруса является хребтина, к которой крепят поводцы с крючками. Хребтина удерживается на плаву при помощи буюв (кухтылей). Общая длина хребтины достигает 100-150 км [9]. В промышленном рыболовстве используется несколько типов ярусов в зависимости от видов тунцов, типов тунцеловных судов и сложившейся практики промысла. Это важный способ рыболовства для вьетнамских судов, который обеспечивает качество продукции.

Удебный лов. Достаточно широко распространен в промысловой практике. Орудием лова являются ручные уды, которые состоят из бамбукового удилица длиной до 6 м, диаметром 1,5 см на тонком конце и до 5 см у основания [9, 40]. При удебном лове применяется живая приманка (анчоус, сардина и др.), искусственная нажива и пульверизационная система. Тунец начинает жадно хватать живую приманку и попадает на крючок. Из рис. 4.2 видно, что в настоящее время во Вьетнаме вылов тунца удебным и ярусным способами занимает 21 % от общего вылова, а основными объектами лова является желтоперый и большеглазый тунец [70].

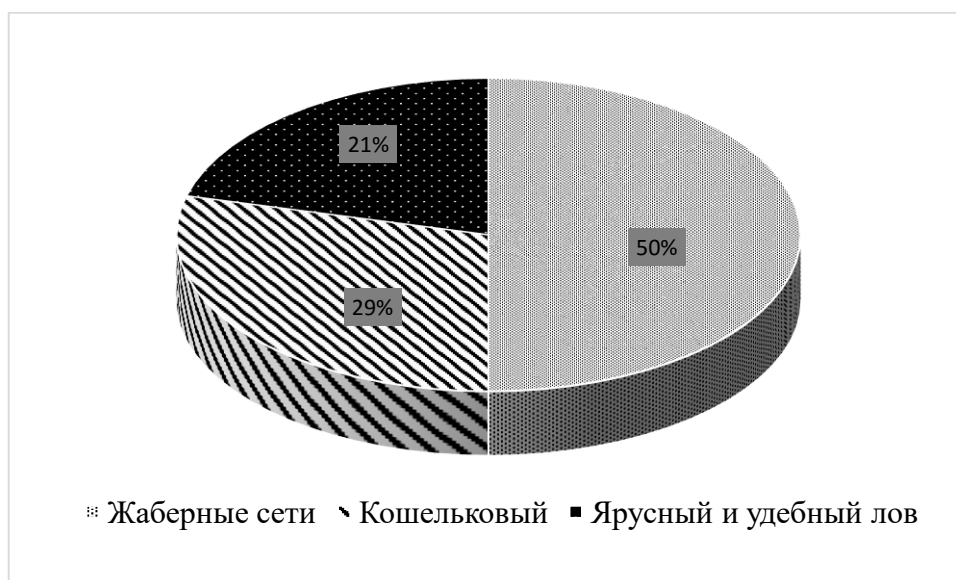


Рис. 4.2. Оценка сравнительной доли вылова различных способов промысла тунца (в %) в зависимости от его общего вылова за период 2000-2014 гг. по данным Департамента по рыболовству и сохранению биоресурсов Вьетнама.

Кошельковый лов. Кошельковый лов широко применяется в верхних слоях воды и имеет разнообразные виды (двукрылый, однокрылый и американский) в зависимости от практики лова, района промысла или страны. Длина кошельковых неводов достигает 2500 метров и более, но обычно не менее 3,5-4,5 диаметров от циркуляции промыслового судна [27]. Минимальная высота невода при кошельковом лове составляет 10% от его длины. Способ кошелькового лова рыбы состоит в том, что косяк рыбы окружается прямоугольной сетью — кошельковым неводом. Низ невода стягивается и замыкается тросом, образуя кошель, в котором удерживается рыба. Для извлечения рыбы из кошелькового невода используется сетный сачок или рыбонасос. Из рис. 4.2 видно, что кошельковый лов занимает 29 % от общего вылова тунца Вьетнама [70].

До 2000 г. промысел тунца во Вьетнаме осуществлялся преимущественно небольшим количеством судов с маленькой мощностью. Поэтому лов происходил в основном в прибрежной полосе и статистические данные о нем не велись. Начиная с 2000 года, вылов тунца был возведен в ранг государственной политики и начал интенсивно развиваться. Соответственно стал налаживаться статистический учет добычи рыбы. Поэтому данные по вылову тунца имеются только с 2000 года, но даже они не являются вполне надежными, поскольку еще не существует хорошо

отлаженной системы мониторинга промысла. Хотя оценки по вылову тунца в табл. 4.1 возможно несколько занижены из-за не учета в мониторинге данных многих мелких судов, однако уникальность их несомненна. За рассматриваемый период (2000-2014 гг.) суммарный годовой вылов тунца вьетнамскими судами увеличился более чем в 2 раза [80, 96, 101].

Отметим, что в течение 2008–2010 гг. отмечалось некоторое снижение вылова тунца (рис. 4.3). Если в 2008 г. его вылов составил 49 903 тонн, то в 2010 году – 41 665 тонн. Снижение вылова произошло в основном из-за сокращения количества судов (табл. 4.1), часть которых передали на промысел других морепродуктов. Однако, начиная с 2011 года, опять происходит резкий рост добычи тунца, за 4 года она возросла в 2 раза. Это связано с интенсивной государственной поддержкой рыбной отрасли и введением в эксплуатацию новых более мощных промысловых судов. Естественно, в межгодовом ходе вылова тунца отчетливо проявляется линейный тренд, вклад которого в исходную дисперсию временного ряда составляет 65 % (рис. 4.3). Согласно тренду, ежегодный прирост добычи рыбы равен 2638 тонн/год.

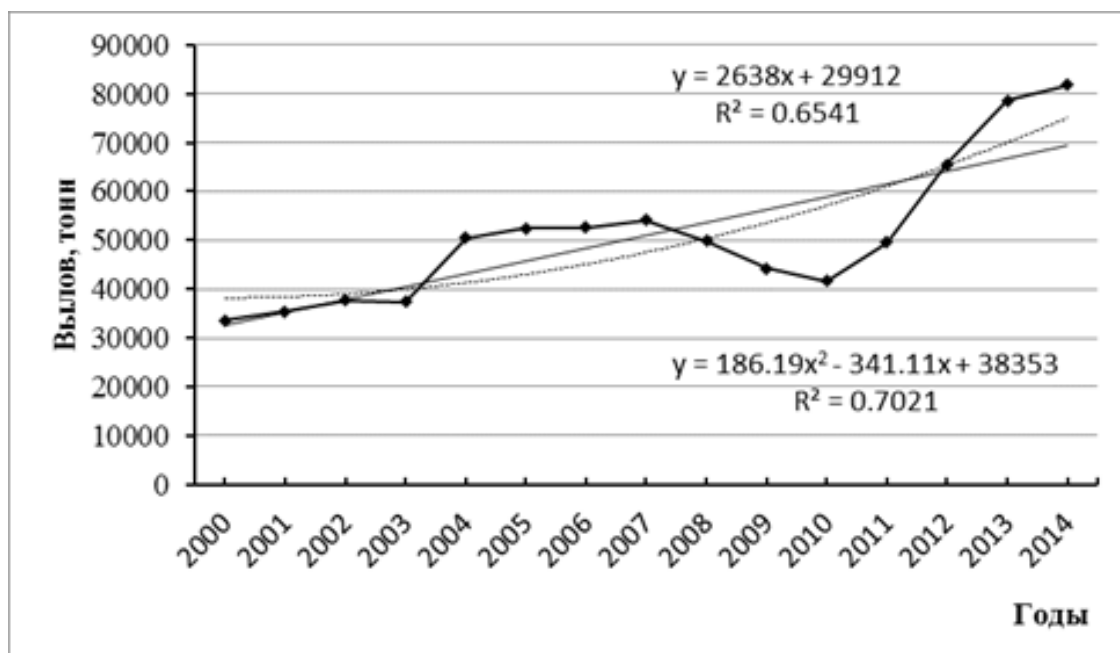


Рис. 4.3. Общий вылов тунца вьетнамскими судами в Южно-Китайском море в тоннах.

Сравнительный анализ вылова различных видов тунца свидетельствует, что наибольшая доля от общего вылова за период 2000-2014 гг. приходится на полосатого тунца (61 %) (рис. 4.4). На втором месте желтоперый тунец (31 %), а меньше всего добывается большеглазого тунца (7 %). Другие виды тунцов не имеют в ЮКМ промысловых запасов.



Рис. 4.4. Оценка сравнительной доли вылова различных видов тунца (в %) в зависимости от его общего вылова за период 2000-2014 гг. по данным Департамента по рыболовству и сохранению биоресурсов Вьетнама.

По оценке Научно-исследовательского института рыбного хозяйства Вьетнама, запас тунца в Южно-китайском море в районах промысла Вьетнамскими судами составляет около 662-670 тыс. тонн, общий допустимый улов принимается около 233 тыс. тонн. Если учесть, что в настоящее время добывается примерно 80 тыс. тонн в год, то возможно наращивание вылова рыбы без угрозы подрыва промыслового запаса. В том числе запас полосатого тунца достигает 618 тыс. тонн, а его общий допустимый улов – 216 тыс. тонн. Суммарный промысловый запас желтоперого и большеглазого тунца колеблется в пределах 44.8-52.5 тыс. тонн при общем допустимом улове 17 тыс. тонн.

4.2. Статистическая модель вылова тунца в зависимости от экономических и океанологических факторов

Прежде всего, рассмотрим степень связности представленных в табл. 4.1 различных экономических факторов и вылова тунца между собой. Поскольку для всех их характерно наличие ярко выраженных трендов, то временные ряды нестационарны по среднему значению и не подчиняются нормальному распределению. В этом случае для оценки тесноты связи между переменными не может быть использован классический корреляционный анализ. Для малых выборок наиболее рациональным подходом представляется применение методов непараметрической статистики, среди которых наибольшее распространение получили ранговые коэффициенты связи, в частности, коэффициенты корреляции Спирмена и Кендалла. В табл. 4.2 приводятся свободные от распределения непараметрические коэффициенты корреляции Спирмена (табл. 4.2).

Таблица 4.2.

Оценки непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена между различными факторами, представленными в табл. 4.1

	Количество промысловых судов	Суммарная мощность судов	Вылов тунца	ВВП
Суммарная мощность судов	0.977	1		
Вылов тунца	0.868	0.847	1	
ВВП	0.927	0.971	0.852	1
Количество населения	0.965	0.988	0.812	0.913

Из табл. 4.2 видно, что между всеми факторами наблюдается высокая корреляция, которая обусловлена главным образом наличием во временных рядах хорошо выраженных трендов. Все коэффициенты корреляции значимы по

критерию Стьюдента (при $\alpha=0.05$ $r_{кр} = 0.50$). Вылов тунца имеет минимальную корреляцию с народонаселением ($r=0.81$), а максимальную – с количеством промысловых судов ($r=0.87$). Все экономические факторы также тесно связаны друг с другом. Максимальная корреляция, как и следовало ожидать, отмечается между числом промысловых судов и их мощностью и фактически является функциональной ($r=0.98$).

Анализ табл. 4.2 позволяет сделать очевидный вывод, что вылов тунца в значительной степени определяется экономическими причинами, в то время как роль океанологических условий на вылов тунца является второстепенной. Итак, в общем случае вылов тунца (V) можно представить в виде аддитивной модели, состоящей из суммы двух компонент: $V_{эконом}$ и $V_{океан}$. Естественно, в качестве главного экономического фактора взять количество промысловых судов N . Если теперь рассчитать простую регрессионную модель вида $V = f(N)$, то ее остатки будут определяться совокупным влиянием океанологических факторов. С помощью метода наименьших квадратов была рассчитана следующая регрессионная модель:

$$V = V_{эконом} + V_{океан} = 7495 + 1.964N + \delta V, \quad (4.1)$$

где δV – остатки модели, которые определяются океанологическими условиями. Данное уравнение и его коэффициенты значимы по критериям Фишера и Стьюдента, коэффициент детерминации равен $R^2=0.75$, а средняя квадратическая ошибка $\sigma = 7497$ т/год, что составляет 15 % от среднего значения вылова. Следующей задачей является идентификация компоненты δV .

Как было показано в работе [55], важнейшим океанологическим фактором, определяющим изменчивость различных характеристик биопродуктивности, является глубина изотермы $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (H_{24}). Но поскольку доступность и особенно оперативность ее получения создают серьезные затруднения в численных расчетах, особенно для многолетних периодов времени, то целесообразно использование температуры поверхности моря (ТПМ), которая определяется с высокой

точностью, доступна почти в режиме он-лайн и имеет значимую корреляцию как с характеристиками биопродуктивности, так и с H_{24} [55].

На рис. 4.5 представлено распределение остатков регрессионной модели (4.1) вылова тунца за период 2000–2014 гг. Именно они послужили функцией отклика на межгодовые изменения ТПМ, которые брались из известного архива NOAA NCDC ERSSTv4

(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version4/.SST>). Шаг сетки этого архива составляет 2 градуса по широте и долготе, а продолжительность наблюдений – с 1854 г. по настоящее время. Для акватории ЮКМ, ограниченной 7–17° с.ш. и 107–115° в.д., где в основном и осуществляется вылов тунца вьетнамскими судами, сформированы временные ряды среднегодовых значений аномалий температуры (Δ ТПМ) в 23 узлах двухградусной сетки за период 2000–2014 гг.

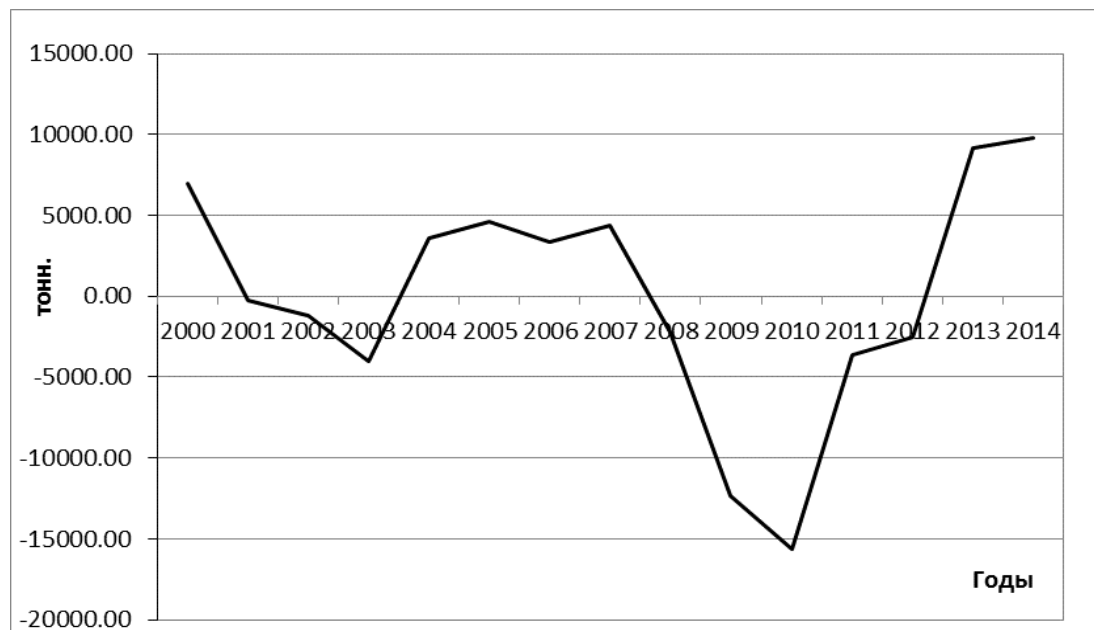


Рис. 4.5. Остатки регрессионной модели вылова тунца (4.1) за период 2000-2014 гг.

Для построения модели вида:

$$\delta V = f(b_j; \Delta \text{ТПМ}_j), \quad (4.2)$$

где b_j – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению, воспользуемся методом включения переменных пошагового алгоритма модели множественной линейной регрессии [42]. Принципиальным моментом его использования является определение оптимального порядка уравнения. В пакетах прикладных статистических программ (ППСП) этот вопрос решается с помощью *частного F-критерия*, который представляет собой обычный *F*-критерий для каждой переменной при условии, что она оказывается последней переменной, включенной в регрессию. Причиной использования именно этого критерия в качестве основного показателя информативности (оптимальности) регрессионной модели служит, очевидно, то обстоятельство, что он является наиболее мощным в классе всех критериев, зависящих от множественного коэффициента корреляции и, кроме того, инвариантным относительно невырожденных преобразований как факторов, так и функции отклика [3].

На каждом шаге модели выполняется проверка адекватности (значимости) модели и сравнение с некоторым пороговым (критическим) значением $F_{кр}$. Величина $F_{кр}$ может быть задана самим исследователем. По умолчанию она обычно принимается в ППСП $F_{кр} = 4.0$. Как только величина F_k становится меньше $F_{кр}$, программа прекращает работу и последний шаг принимается за оптимальную модель регрессии. Однако, как показывает опыт практических расчетов [44] не все коэффициенты регрессии при этом могут быть значимыми.

Очевидно, что нахождение оптимальной модели МЛР – задача неформальная. На наш взгляд, только комплексный анализ полученных моделей может позволить надежно определить оптимальный вид окончательной модели. С этой целью вначале рассчитывается полный комплекс (от 1 до m) моделей. После этого проводится детальный анализ основных параметров моделей (коэффициент детерминации, стандартная ошибка модели, критерий Фишера, *p-level* коэффициентов регрессии) на значимость на каждом шаге. Именно таким образом осуществлялось построение модели (4.2). До 8 шага включительно параметры модели были значимыми, начиная с 9 шага, в модели появились коэффициенты регрессии, незначимые по критерию Стьюдента, т.е. имеющие *p-level* больше 0.05.

Отсюда следует, что за оптимальную модель следует принять уравнение с 8 переменными аномалий температуры воды:

$$\delta V = b_0 + b_1 \Delta \text{ТПМ}_1 + \dots + b_8 \Delta \text{ТПМ}_8, \quad (4.3)$$

которое описывает 95 % дисперсии ряда δV , имеет малую среднеквадратическую ошибку вылова тунца ($\sigma = 2514$ тонн/год), значимый критерий Фишера для модели и значимые критерии Стьюдента для всех переменных. В результате, в общем виде статистическая модель вылова тунца в ЮКМ имеет вид:

$$V = a_0 + a_1 N + \sum_{i=0}^8 b_i \Delta \text{ТПМ}_i \quad (4.4)$$

Данная модель описывает 98 % дисперсии исходного временного ряда вылова тунца, а случайная ошибка вылова по модели составляет 1590 т/год, т.е. 3 %. Из рис. 4.6 видно, что вычисленные по формуле (4.4) значения вылова рыбы почти в точности совпадают с их исходными значениями. Отметим также, что модель (4.4) носит диагностический характер и ее использование, например, в прогностических целях весьма проблематично.

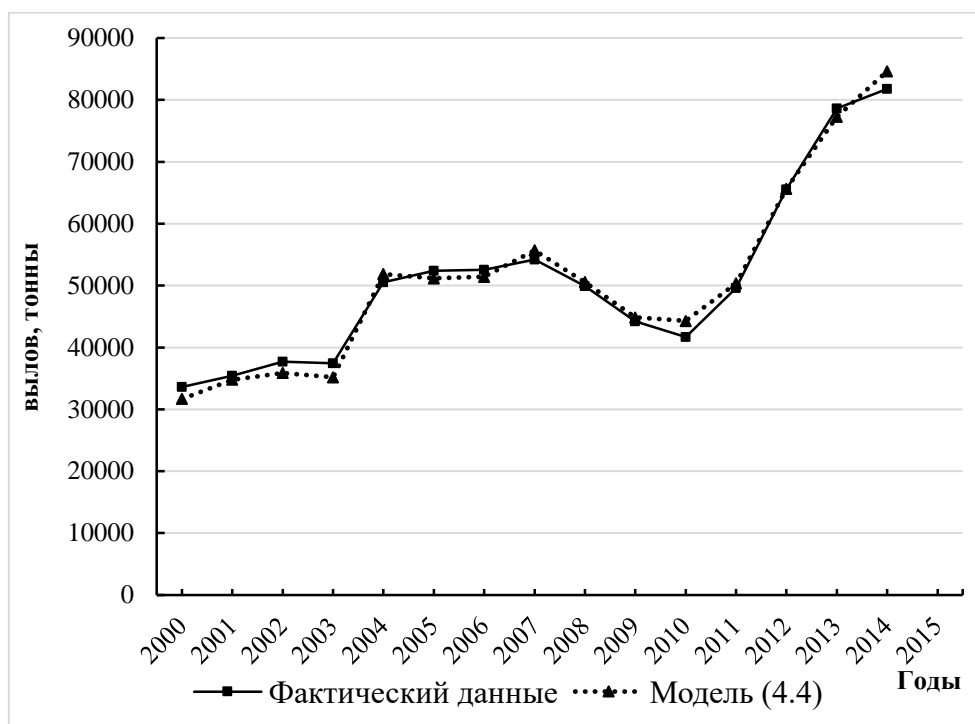


Рис. 4.6. Сопоставление фактических и вычисленных по модели (4.4) значений вылова тунца в ЮКМ.

4.3. Методологические аспекты прогнозирования вылова рыбы

Безусловно, оценка современного состояния и тем более прогнозирование вылова тунца является чрезвычайно важным для экономики Вьетнама. К сожалению, статистические данные по вылову тунца есть только с 2000 года, но даже они, как указывалось выше, не являются вполне надежными.

Вследствие этого проблема прогноза вылова тунца представляется очень сложной. Данная проблема осложняется тем, что для коротких временных рядов невозможно исследовать и выявить присущие им внутренние закономерности изменчивости и частотную структуру. Кроме того, для малых выборок использование формального статистического аппарата и, в частности, метода наименьших квадратов, имеет весьма ограниченное применение. Поэтому можно согласиться с утверждением, что «не существует универсально предпочтительных методов прогнозирования на все случаи жизни» [1].

Применительно к рассматриваемой проблеме методы прогнозирования целесообразно разбить на 3 группы: экспертные, экстраполяционные и статистические методы [42, 44, 45]. При этом следует иметь в виду, что разделение на экстраполяционные методы и статистические модели в определенной степени условно. Как известно, экстраполяция представляет собой продление на перспективу тенденций, наблюдавшихся в прошлом. Методы экстраполяции основаны исключительно на закономерностях внутренней структуры самого процесса и не требуют привлечения дополнительной информации. К этим закономерностям относится, прежде всего, учет инерционности и цикличности временного ряда. Естественно поэтому, что основой данных методов является аппарат одномерного статистического анализа.

Статистические модели обычно требуют привлечения дополнительной информации, в качестве которой используются какие-либо процессы (факторы), воздействующие на рассматриваемую переменную. Математическим аппаратом решения данной задачи в основном служит классический метод множественной линейной регрессии (МЛР) и его различные модификации [8, 25, 42, 61]. Помимо метода МЛР в статистических прогнозах используются также такие методы, как дискриминантный анализ, кластерный анализ и др. Так, даже известный на практике метод аналогов по сути реализует идеи кластерного анализа и поэтому может быть представлен как одно из его направлений. Следовательно, основой статистических моделей является аппарат многомерного статистического анализа или в простейшем случае – метод регрессии двух переменных.

В задаче прогноза вылова тунца могут быть использованы все три подхода, которые целесообразно объединить в иерархическую систему, состоящую из нескольких уровней (ступеней), схема которой представлена на рис. 4.6. Отметим, что подобная схема успешно использована в работе [56] для прогноза вылова рыбы в промысловом районе Вьетнама в Южно-Китайском море.



Рис. 4.7 – Схема иерархической системы прогноза вылова тунца.

Первый уровень иерархической системы представляет собой экспертный подход (рис. 4.7). Суть его заключается в том, что исходя из каких-либо теоретико-гносеологических соображений, эксперты волевым способом назначают возможное значение показателя. В этом случае объем исходной выборки обычно не имеет принципиального значения. Экспертный подход довольно широко распространен и без каких-либо особых затруднений может быть использован для прогноза вылова тунца и других видов рыб.

В качестве экспертного подхода целесообразно использовать сочетание аналитического метода и метода «комиссий» [4, 26]. Первый выражает индивидуальную точку зрения эксперта, сформулированную им по поводу тенденций развития изучаемых явлений и процессов в публикациях, аналитических записках, научно-технических отчетах, экспертизах и т.п. Метод *комиссий* представляет коллективное мнение экспертов по выработке документов о перспективах развития объекта прогнозирования.

Второй уровень – методы экстраполяции, описание которых дано ниже. Главная сложность их применения – это короткая продолжительность рядов

вылова тунца. Следует также учесть, что исходная выборка должна быть разделена на 2 части: зависимую и независимую, используемую для оценки точности прогноза. В результате объем зависимой выборки еще более сокращается. В этом случае выявление внутренних закономерностей временных рядов практически нереально. Поэтому построение прогностических моделей возможно только для относительно «гладких» рядов, не содержащих экстремумы. По существу это эквивалентно задаче выделения и экстраполяции тренда временного ряда. Особенно полезным данный подход представляется, когда тренд описывает преобладающую долю дисперсии исходной выборки.

Третий уровень – статистический подход, реализуемый, как правило, с помощью модели множественной линейной регрессии (МЛР). При этом выявление круга потенциальных предикторов – это первое методологическое условие разработки статистической модели прогноза. Вторым методологическим условием является выявление реальных асинхронных зависимостей, характеризующих причинно-следственные связи в прогностической системе «предиктант – предикторы». Естественно, в зависимости от масштабов осреднения эти связи могут быть существенно различными. Поэтому заблаговременность прогноза зависит от инерционности воздействующих на изучаемый процесс факторов. Наконец, важнейшим информационным условием разработки данного метода прогноза является оперативное получение экспериментальных данных, что, вообще говоря, не всегда оказывается возможным.

Поскольку модель МЛР основана на методе наименьших квадратов, то, учитывая короткую длину рядов показателей мониторинга, построение классической модели МЛР вызывает серьезные затруднения. В некоторых случаях число предикторов m может быть существенно больше длины ряда n . Оптимальный вариант – это когда одного предиктора оказывается достаточным для описания функции отклика, то есть строится модель парной регрессии. В тех случаях, когда не удастся достичь требуемой точности, возникает необходимость введения в модель новых предикторов. Принципиальное отличие статистического метода от

экстраполяционного заключается в том, что он может быть использован для прогноза рядов любого вида.

При использовании всех трех вариантов прогноза и затруднений в выборе лучшего из них, следует произвести комплексирование прогнозов. Под комплексированием понимается статистический учет различных вариантов прогноза. Самый простой способ комплексирования заключается в осреднении всех вариантов прогноза с одинаковыми весами [61].

Разумеется, возможны и другие способы аппроксимации тренда. В том случае, если неизвестными являются два параметра, то для их определения может быть использован метод наименьших квадратов. Главное требование – линейный вид определяемых параметров тренда. Модели, нелинейные по оцениваемым параметрам делятся на 2 типа:

- нелинейные модели внутренне линейные по параметрам,
- нелинейные модели внутренне нелинейные по параметрам.

Для первого типа моделей характерно то, что с помощью подходящих преобразований они могут быть приведены к линейному виду. Данная процедура называется *линеаризацией*. Коэффициенты линеаризованных моделей обычно определяются МНК. Для оценки параметров нелинейных моделей, которые не удается свести к линейному виду, используются, как правило, итеративные процедуры. К ним относятся квазиньютоновский метод, симплекс-метод, метод Хука-Дживса и др.

К сожалению, далеко не всегда точность описания исходных данных эмпирической формулой с двумя параметрами оказывается достаточной с практической точки зрения. Поэтому существуют программные комплексы, реализующие процедуру аппроксимации с помощью формул, имеющих три и более параметра. К их числу относится, в частности, программный комплекс «Аппроксимация», который позволяет оценивать параметры нескольких десятков нелинейных формул. Однако следует иметь в виду, что при выборе типа формулы преимуществом при прочих равных условиях обладают те из них, которые имеют малое число неизвестных параметров. Большое число параметров, с одной

стороны, затрудняет их определение, а с другой – затрудняет пользование формулой при выполнении расчетов.

Для относительно гладких временных рядов, особенно при отсутствии экстремумов, дисперсия тренда может значительно превосходить сумму дисперсий циклической и случайной компонент. Данное условие является решающим с точки зрения прогноза временного ряда. В этом случае экстраполяция тренда может давать приемлемые с практической точки зрения результаты.

4.4. Прогнозирование вылова тунца в Южно-Китайском море

Отметим, что разработка методики долгосрочного прогноза вылова тунца представляется чрезвычайно сложной задачей, так как для коротких временных рядов невозможно исследовать и выявить присущие им внутренние закономерности изменчивости и частотную структуру. Кроме того, для малых выборок использование формального статистического аппарата и, в частности, метода наименьших квадратов, имеет весьма ограниченное применение.

Очевидно, в данном случае наиболее рациональным представляется использование экстраполяционного подхода, в соответствии с которым построение прогностических моделей возможно только для относительно «гладких» рядов, не содержащих экстремумы. По существу это эквивалентно задаче выделения и экстраполяции тренда временного ряда. Особенно полезным такой подход представляется, когда тренд описывает преобладающую долю дисперсии исходной выборки [46]. Поэтому воспользуемся для данной цели программным комплексом «Аппроксимация», который позволяет оценивать параметры нескольких десятков нелинейных формул, а также дополнительно построением авторегрессионных моделей малого порядка.

Рассчитанное по указанному программному комплексу уравнение линейного тренда имеет вид:

$$V = a_0 + a_1t + \delta V^* \quad (4.5)$$

где t – время, δV^* – остатки. Уравнение (4.5) описывает 65 % дисперсии исходного ряда и имеет стандартную ошибку равную $\sigma=8288$ т/год. Нетрудно видеть, что данное уравнение несколько уступает в точности уравнению (4.4). В принципе, даже формула (4.5) может быть использована для ориентировочного прогноза вылова тунца на 1-2 года. Для получения более точных прогностических оценок вылова необходимо построить статистическую модель для остатков δV^* в формуле (4.5). Использование комплекса «Аппроксимация» показало, что самым точным способом аппроксимации остатков δV^* является полином 5 степени, т.е.

$$\delta V^* = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_5 t^5. \quad (4.6)$$

Коэффициент детерминации этой зависимости $R^2=0.84$, а среднеквадратическая ошибка равна $\sigma=4236$ т/год. Суммируя теперь составляющие в формулах (4.5) и (4.6), получим вылов рыбы (рис. 4.8), функционально зависящий только от времени:

$$V = a_0 + b_0 + (a_1 + b_1)t + b_2 t^2 + \dots + b_5 t^5. \quad (4.7)$$

Данное уравнение описывает 95 % дисперсии исходного ряда и имеет стандартную ошибку равную $\sigma=3250$ т/год. Если вычислить вылов тунца непосредственно по исходному ряду (табл. 4.1) полиномом 5 степени, то получим $R^2=0.95$ и $\sigma=4222$ т/год. Нетрудно видеть, что коэффициенты детерминации полностью совпадают, в то время как величина σ в первом случае заметно ниже. Это связано с тем, что полиномы высоких степеней накапливают вычислительные ошибки. Но поскольку остатки по абсолютной величине значительно меньше исходных значений вылова рыбы, то естественно аппроксимация их полиномом 5 степени выполняется с меньшими ошибками.

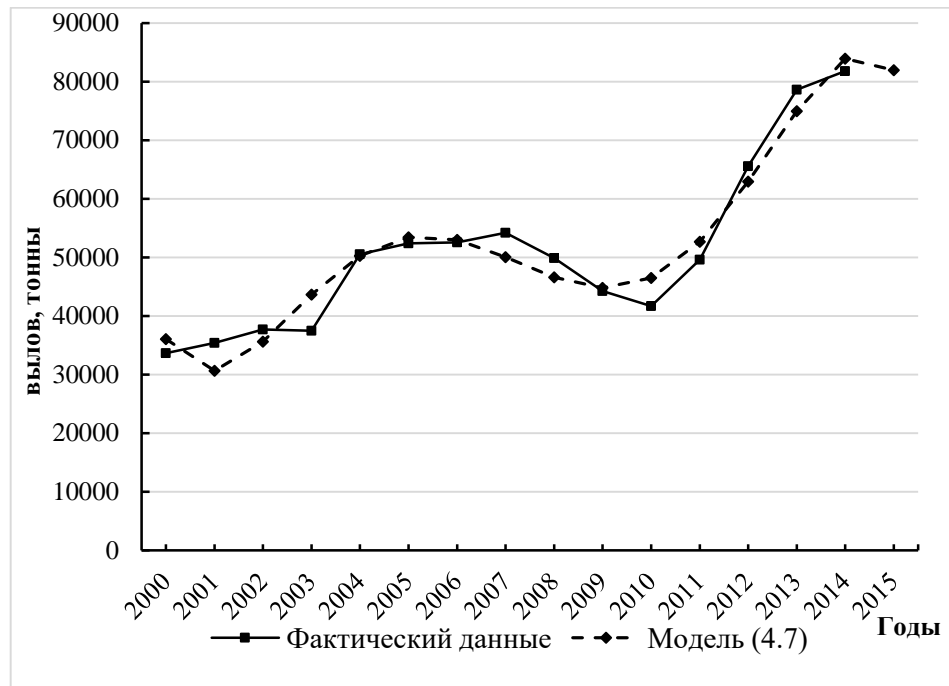


Рис. 4.8. Сопоставление фактических и вычисленных по модели (4.7) значений вылова тунца в ЮКМ.

Другой вариант построения экстраполяционной модели состоит в использовании применительно к остаткам в формуле (4.5) авторегрессионной модели вида:

$$X^o(t) = \alpha_1 X^o(t-1) + \alpha_2 X^o(t-2) + \dots + \alpha_p X^o(t-p) + Z(t) \quad (4.8)$$

где $X^o(t)$ – центрированный случайный процесс, $Z(t)$ – белый шум. Главной задачей авторегрессии является оценка порядка p . Достаточно просто это можно сделать с помощью частной автокорреляционной функции (ЧАКФ) (рис. 4.9), которую можно выразить в виде последовательности частных коэффициентов автокорреляции для различных сдвигов τ . Частный коэффициент автокорреляции $r_{\text{част}}(\tau)$ представляет собой обычный коэффициент автокорреляции при устранении влияния на него всех предшествующих значений временного ряда. Отсюда следует, что на первом сдвиге $\tau=1$ частный коэффициент автокорреляции совпадает с обычным коэффициентом автокорреляции, т.е. $r_{\text{част}}(\tau_1) = r(\tau_1)$. На втором сдвиге $\tau=2$

он учитывает влияние на него $r(\tau_1)$. И так далее. ЧАКФ используется для идентификации авторегрессионных моделей.

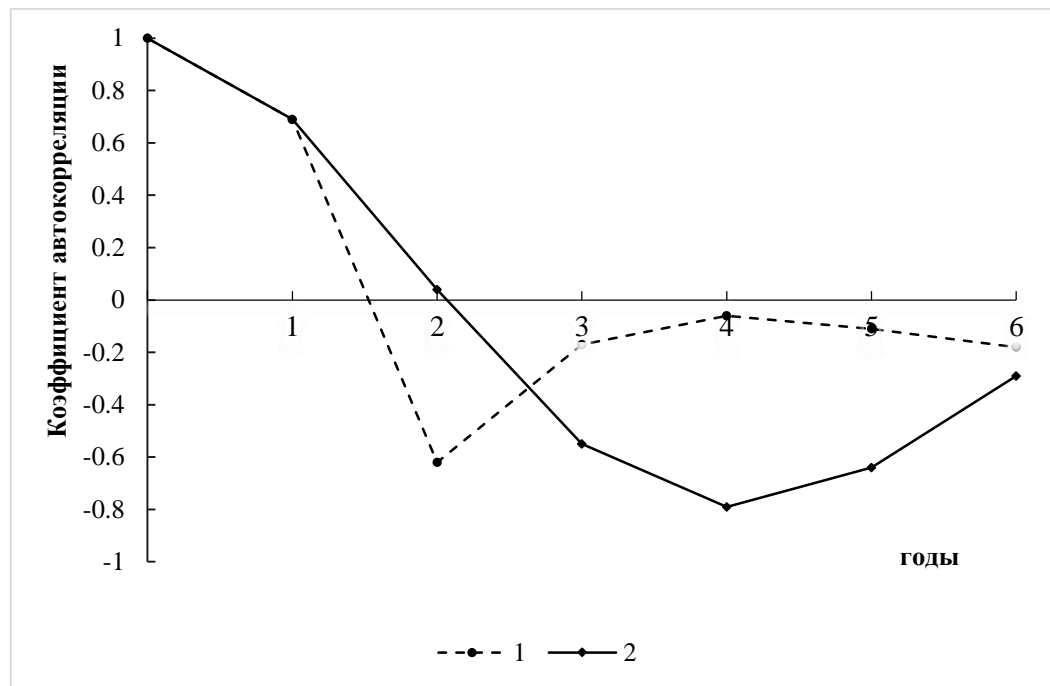


Рис. 4.9. График частной (1) и общей (2) автокорреляционной функции значений δV^* .

Как видно из рис. 4.8 на первых двух сдвигах отмечается высокая частная корреляция, превышающая критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha=0,05$ ($r_{кр} = 0.50$). Однако на последующих сдвигах $\tau \geq 3$ она резко уменьшается и становится незначимой. Отсюда следует, что в принципе мы можем использовать модели авторегрессии первого и второго порядка, т.е. $p=1$ и $p=2$. Естественно, модель второго порядка предпочтительнее, так как имеет более низкую среднеквадратическую ошибку. Отметим, что коэффициенты авторегрессии рассчитываются путем решения системы нормальных уравнений Юла-Уокера [16]. После этого по формуле (4.8) несложно рассчитать значения δV^* , складывая которые с трендовой компонентой получаем оценки вылова тунца.

Формула (4.7) легко поддается экстраполяции. Но выполнять прогноз более чем на 1 шаг рискованно. Прогноз на 2 шага возможен только на качественном уровне, т.е. дается оценка увеличения (уменьшения) вылова по сравнению с предшествующим шагом. Прогноз по линейному тренду (4.5) на 1 шаг (на 2015 год)

дает оценку вылова рыбы равную 72100 т/год, а по уравнению (4.7) – 82000 т/год, что почти совпадает с фактическим выловом рыбы в 2014 году. Прогноз с использованием модели авторегрессии первого и второго порядка дает оценку вылова тунца на 2015 год соответственно равную 81500 и 77200 т/год. Отсюда видно, что модель авторегрессии второго порядка заметно занижает оценку вылова рыбы. Однако только сравнение с фактическим выловом может позволить определить, какие прогнозные оценки являются более точными. После того, как была выполнена данная работа, получена оценка вылова тунца вьетнамскими судами за 2015 год. Она составила 78.670 тонн, т.е. почти совпадает с прогностической оценкой по модели авторегрессии второго порядка.

Что касается прогноза вылова тунца на 2016 год, то если ориентироваться на модели экстраполяции, он может снизиться. В заключение подчеркнем, что учитывая особенности исходных данных, их короткую продолжительность, полученные прогностические оценки вылова тунца вьетнамскими судами в ЮКМ носят приближенный характер. Однако получение более точных прогностических оценок вылова рыбы в настоящее время вряд ли представляется возможным.

Заключение

В результате выполненных в работе исследований были сделаны следующие основные выводы.

1. Промысловый запас тунцовых по данным Научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства Вьетнама оценивается в 662-670 тыс. тонн. При этом общий допустимый улов принимается около 233 тыс. тонн, а добывается в настоящее время примерно 80 тыс. тонн в год. В ЮКМ распределение тунца может быть разделено на две зоны в соответствии характером муссонной деятельности. Во время северо-восточного муссона, когда промысел идет с октября по март, тунец распределяется в основном в северной части ЮКМ и вблизи Парасельских островов. Во время юго-западного муссона (с апреля по сентябрь), тунец распределяется в южной части ЮКМ и у острова Спратли. Максимальный вылов отмечается в сентябре. Меньше всего рыбы добывается в ноябре-декабре. Наибольшая доля от общего вылова за период 2000-2014 гг. приходится на полосатого тунца (61 %). На втором месте желтоперый тунец (31 %), а меньше всего добывается большеглазого тунца (7 %). Другие виды тунцов не имеют в ЮКМ промысловых запасов. Больше всего тунца добывается с помощью жаберных сетей (50 %), кошельковый лов дает 29 % от общего вылова, ярусный и удебный лов – еще 21 %.

2. Выполнена оценка влияния 18 различных показателей температуры воды на комплекс из 6 параметров биопродуктивности вод Южно-Китайского моря за период 1990-2009 гг., которые тесно связаны друг с другом, корреляция между ними не опускается ниже $r=0,85$. Показано, что максимальная корреляция всех параметров биопродуктивности отмечается для глубины изотермы 24 °C и составляет от $r=-0,70$ до $r=-0,94$. Второй по значимости является глубина изотермы 20 °C, третьей – температура поверхности моря. Со всеми указанными параметрами корреляция оказывается отрицательной. Это означает, что с углублением изотерм 20 и 24 °C и ростом температуры поверхности моря все характеристики биопродуктивности должны уменьшаться. В тоже время, хотя диапазон 20–24 °C

является оптимальным в распределении тунца, характеристики биопродуктивности слабо реагируют на изменчивость толщины слоя между изотермами 20 и 24 °C.

3. Выполнен подробный анализ пространственно-временных закономерностей глубины изотермы 24 °C (H_{24}) на основе глубоководного архива CARTON-GIESE SODA за период 1980-2008 гг. В частности отмечается значительная пространственная дифференциация значений H_{24} , как в зональном, так и меридиональном направлениях. Для средних многолетних годовых условий значения H_{24} плавно возрастают от 51 м на крайнем северо-западе района до 76-78 м в его южной части на широте 9° с.ш. Далее на юг H_{24} начинает уменьшаться. Также идет рост значений H_{24} от прибрежных районов в открытое море. Расчет линейных трендов показал, что на всей акватории моря отмечаются положительные тренды, т.е. отмечается тенденция к углублению изотермы 24 °C. Максимальные значения тренда приурочены к мелководной северо-западной части района. Наличие положительных трендов означает, что в рассматриваемый период времени отмечалась тенденция к уменьшению биопродуктивности вод моря.

4. Впервые на основе факторного анализа выполнено районирование промыслового района ЮКМ по характеру межгодовых колебаний изотермы 24 °C. Первые 5 факторов описывают почти 80 % дисперсии исходного поля. По факторным нагрузкам выделено 5 квазиоднородных районов. Самый большой район с максимальной межгодовой изменчивостью H_{24} вытянут в меридиональном направлении вдоль побережья Вьетнама. Остальные районы имеют широтную направленность. Во временном ходе общих факторов отмечаются преимущественно случайные межгодовые колебания. Можно лишь отметить наличие слабого 6-8-летнего цикла, который также проявляется в запасах тунца в Мировом океане.

5. Впервые построена статистическая модель межгодовых значений вылова тунца в зависимости от экономических и термических факторов. Показано, что наиболее важным экономическим фактором является количество промысловых судов, которое за период 2000-2014 гг. увеличилось более чем в 3 раза, а их суммарная мощность – более чем в 4 раза! В качестве термического фактора

использовалась температура поверхности моря (ТПМ) в узлах двухградусной сетки, которая определяется с высокой точностью, доступна почти в режиме онлайн и имеет значимую корреляцию как с характеристиками биопродуктивности, так и с H_{24} . Показано, что экономический фактор (количество промысловых судов) является основным, на его долю приходится 75 % дисперсии исходного ряда. Остатки от этой модели послужили исходными данными для построения регрессионной модели с аномалиями ТПМ, взятыми из известного архива NOAA NCDC ERSSTv4. Получена оптимальная модель, содержащая 8 переменных, которая описывает 95 % дисперсии остаточного ряда со значимым критерием Фишера для модели и значимым критерием Стьюдента для всех переменных. В результате общая статистическая модель вылова тунца в зависимости от числа судов и ТПМ описывает 98 % дисперсии исходного ряда, а случайная ошибка вылова по модели составляет 1590 т/год, т.е. 3 %.

6. Впервые предложена методика долгосрочного прогноза годовых значений вылова тунца на основе экстраполяции временного ряда при его аппроксимации полиномиальной моделью и авторегрессионной моделью второго порядка. Вследствие короткой длины временного ряда вылова рыбы и того, что тренд описывает преобладающую долю его дисперсии, такой подход представляется единственно возможным. В работе реализованы две численные процедуры. Первая состояла в аппроксимации остатков, полученным после исключения линейного тренда из временного ряда вылова тунца, полиномом 5 степени, который описывает 95 % его дисперсии и имеет стандартную ошибку равную $\sigma=3250$ т/год, т.е. 5 % от среднего значения. Второй подход заключался в использовании авторегрессионной модели к этим же остаткам, представляющим собой стационарный случайный процесс. В результате расчета частной автокорреляционной функции установлено, что оптимальной является модель второго порядка. Независимый прогноз вылова тунца на 2015 год по полиномиальной модели дал величину 82000 т/год, по авторегрессионной модели – 77200 т/год. После составления прогноза из Вьетнама было получено, что фактический вылов тунца в 2015 году составил 78670 т/год. С первой моделью расхождение составляет 4 %, со второй – меньше 2 %.

Список сокращений и условных обозначений

IATTC	Межамериканская комиссия по тропическим тунцам в Восточной части Тихого океана
ICCAT	Международная комиссия по сохранению запасов атлантических тунцов
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
WCPFC	Рыболовная комиссия Центральной и Западной части Тихого океана
МГК	Метод главных компонент
МЛР	Множественная линейная регрессия
МФА	Метод факторного анализа
ОДУ	Общий допустимый улов
ППСП	Пакет прикладных статистических программ
ТПМ	Температура поверхности моря
ФА	Факторный анализ
ФАО	Продовольственная и сельскохозяйственная организация
ФН	Факторная нагрузка
ЮКМ	Южно-китайское море

Список литературы

1. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики [текст] / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.
2. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов.– М., Мир, 1976.– 755 с.
3. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. Перевод с английского.М.: Физматгиз, 1963. – 499 с.
4. Антохонова И.В. Методы прогнозирования социально-экономических процессов [текст] / И.В. Антохонова – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. - 212 с.
5. Атлас добычи тунца и меч-рыбы [электронный ресурс] // Департамент рыбного хозяйства и аквакультуры. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций за мир без голода. Режим доступа: <http://www.fao.org/fishery/statistics/tuna-atlas/en>.
6. Атлас океанов. Термины, понятия, справочные таблицы. М., 1980, 156 с.
7. Атлас по океанографии Южно-Китайского моря [электронный ресурс]. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН. Режим доступа: <http://pacificinfo.ru/data/cdrom/9/text.html>.
8. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
9. Белкин С.И. Промысел тунца / С.И. Белкин, Е.В. Каменский. М. Пищ. Пром-сть, 1976.126с.
10. Белоножко В.П., Богданов К.Т. Некоторые результаты исследований тонкоструктурной стратификации в Южно-Китайском море. // Гидрофизические исследования. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 55-60.
11. Благуш П. Факторный анализ с обобщениями. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 247 с.

12. Богданов К.Т. Приливы австрало-азиатских морей. // Тр. ИОАН. 1963, т.66. С.59-65.
13. Богданов К.Т. Происхождение глубинных и придонных вод Южно-Китайского моря. // ДАН СССР. 1985, т. 281, № 6. С. 1440-1441.
14. Богданов К.Т., Мороз В.В. Карты поверхностной температуры, солености, течений в западной части Южно - Китайского моря. // Атлас Вьетнама. Изд. АН СССР и СНИ СРВ, Ханой. 1985.
15. Богданов К.Т., Мороз В.В. Термохалинная структура и циркуляция вод Южно-Китайского моря. // Океанология. 1994, т. 34, № 6. С. 811-816.
16. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
17. Будыленко. Г, В. Гайков. Перспективы развития российского промысла тунцов в Мировом океане [электронный ресурс]/ Морская индустрия. - Режим доступа: <http://mi32.narod.ru/03-01/tuna.html>.
18. Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Ч.2. Многомерный анализ. – СПб.: Изд. РГМИ, 1992. – 96 с.
19. Григорьев А.А. Краткая географическая энциклопедия, Том 5 / Гл. ред. М. 1966. 544с.
20. Груза, Г.В. Вероятностные метеорологические прогнозы [текст] / Г.В. Груза, Ранькова Э.Я. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 271 с
21. Данг Конг Минь. Приливные явления Южно-Китайского моря: Дисс...канд. г.н. – Москва, ИОАН. 1974. 161 с.
22. Данченков М.А., Гаврилов Г.М. Подъем вод у центральной части побережья Вьетнама в 1979-1988 гг. // Тр. ДВНИГМИ. 2000, вып. 140. С. 124-130.
23. Данченков М.А., Таранков С.В. Внутригодовая изменчивость вертикальной структуры вод Южно-Китайского моря. // Тр. ДВНИГМИ. 2000, в. 140. Сс. 99-103.

24. Дмитриева Е.В., Ростов И.Д. Разработка и реализация баз океанографических данных по северной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2004. 143 с.
25. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1, 2. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с. – 1987. – 351 с.
26. Дуброва Т.А. Прогнозирование социально-экономических процессов [текст] / Т.А. Дуброва – М.: Маркет ДС, 2007. – 192 с.
27. Е.В. Каменский, Г. Б. Терентьев "Рыболовные траулеры" и А. Е. Богомольный "Судовые вспомогательные и рыбопромысловые механизмы" [электронный ресурс]. Режим доступа: http://soviet-trawler.narod.ru/main_r/purse_r.
28. Жаров В.Л., Карпеченко Ю.Л., Мартинсен Г.В. Тунцы и другие объекты тунцового промысла. М. 1961. 114с.
29. Иберла К. Факторный анализ. – М., Статистика, 1980. – 398 с.
30. Колемаев В.А., Староверов О.В., Турундаевский Б.В. Теория вероятностей и математическая статистика.– М., Высшая школа, 1991.– 400 с.
31. Короткова Л.П., Кухарев Н.Н. Состояние ресурсов и возрастной состав желтоперого тунца в 1980-1982гг в северо-западной части Индийского океана. М. 1984. С 74-83.
32. Косолапкин Г.Ю., Фортус В.М. О связи оптической и гидрологической структуры вод Южно-Китайского моря в зимний сезон. / Владивосток, изд. ТОО ДВНЦ АН СССР, 1987, 14 с.
33. Ластовецкий Е.И. Некоторые особенности гидрологического режима шельфа Вьетнама в зимний период. // Тр. ДВНИГМИ. 2000, вып. 140. С. 104-106.
34. Ластовецкий Е.И. Некоторые сведения о приливных течениях в южной части Южно-Китайского моря. // Тр. ДВНИИ. – 1984. – вып. 111. С. 97-102.

35. Ластовецкий Е.И., Власов Н.А. Некоторые сведения о течениях в проливе Лусон. // Тр. ДВНИИ. 1986, вып. 125. С. 65-73.
36. Ластовецкий Е.И., Власов Н.А. Течения в отдельных районах шельфа Вьетнама, определенные по инструментальным данным. // Тр. ДВНИГМИ. – 2000. – вып. 140. С. 137-147.
37. Ластовецкий Е.И., Савельев А.В. Особенности гидрологического режима вод шельфа Вьетнама в летний сезон. // Тр. ДВНИГМИ. 2000, вып. 140. С. 110-117.
38. Ластовецкий Е.И., Савельев А.В. Особенности гидрологического режима шельфовых вод Вьетнама осенью 1992 г. // Тр. ДВНИГМИ. 2000, вып. 140. С. 118-123.
39. Ластовецкий Е.И., Стерхов С.Н., Савельев А.В. Особенности геострофической циркуляции вод на шельфе Вьетнама и в прилегающих районах. // Тр. ДВНИГМИ. 2000, вып. 140. С. 131-136.
40. Леонтьев С.Ю. Морфофизиологические особенности, стайное поведение и состояние промысла желтоперого, полосатого и пятнистого тунцов Индийского и Атлантического океанов. Диссертация кандидата биологических наук (03.00.10 - ихтиология)/Леонтьев Сергей Юлианович - Москва 2002г. с80- 86.
41. Макаров В.Г. Применение плотностных моделей при диагностических расчетах течений в глубоком море с широким рельефом. // Океанологические исследования в Тихом океане. Владивосток. ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 83-89.
42. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 325 с.
43. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 260 с.
44. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана. Том 1. Изменчивость факторов среды обитания. Санкт-Петербург, Монография, 2009 – 277с.

45. Малинин В.Н., Чернышков П.П., Гордеева С.М. Канарский апвеллинг: крупномасштабная изменчивость и прогноз температуры воды. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002. – 138 с.
46. Малинина Ю.В. Особенности морской деятельности в современных условиях и оценка негативных последствий от повышения морского уровня в XXI столетии // Автореферат дис. канд. геогр. наук. - Спб, РГГМУ, 2010, 23 с.
47. Мельников А.В., Мельников В.Н. Селективность рыболовства. Астрахань, 2005. 375с.
48. Мельников А.В., Мельников В.Н. Управление запасами промысловых рыб и охрана природы. Астрахань, 2010. С. 14-19.
49. Мельников В.Н. Биотехнические основы промышленного рыболовства. М., 1983. С. 189-199.
50. Миронюк Ю.К., Дубина В.А. Некоторые гидрологические особенности гидрологического режима вод центральной части Южно-Китайского моря летом 1985 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1988, в. 141. С. 63-83.
51. Моисеев П.А. Биологические ресурсы Мирового океана. М. 1969. 340 с.
52. Моисеев П.А., Азизова Н.А., Куранова И.И. Ихтиология. М. 1981. С 317-320.
53. Нгуен Данг Киен, Бухарицин П.И. Биологические особенности и условия обитания некоторых видов тунца /Нгуен Данг Киен, П.И. Бухарицин //Рыбное хозяйство. Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2015 - № 1 – С. 134 – 140.
54. Нгуен Данг Киен, Бухарицин П.И. Исследование влияния некоторых экологических факторов на распределение пелагических рыб в Южно-Китайском море (на примере тунца) / Нгуен Данг Киен, П.И. Бухарицин // Рыбное хозяйство «Водные биоресурсы и их рациональное использование». Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014 - №2. С. 13-20.

55. Нгуен Данг Киен, Малинин В.Н., Гордеева С.М. Влияние температуры воды на формирование биологической и промысловой продуктивности Южно-Китайского моря / Нгуен Данг Киен, В.Н.Малинин, С.М Гордеева //Научно-теоретический журнал. Ученые записки. Российский государственный гидрометеорологический университет. Изд-во Санкт-Петербург, 2016 – № 42.

56. Нгуен Данг Киен, Малинин В.Н., Гордеева С.М. Статистическое моделирование вылова тунца в Южно-Китайском море. / Нгуен Данг Киен, В.Н.Малинин, С.М Гордеева //Научно-теоретический журнал. Ученые записки. Российский государственный гидрометеорологический университет. Изд-во Санкт-Петербург, 2016 – № 42

57. Нгуен Данг Киен. Оценка современного состояния мировых запасов тунца по материалам литературных источников / Нгуен Данг Киен // Естественные науки «Журнал фундаментальных и прикладных исследований». Вестник Астраханского государственного университета. Астрахань. 2013. № 4 (45). С. 46–64.

58. Нгуен Тиен Зунг. Циркуляция вод Южно-Китайского моря в зимний и летний сезоны: Дисс. канд. г.н. – Владивосток, ТОИ ДВО РАН. 1990. 177 с.

59. Осипов В. Г. Тунцы и мечеобразные Тихого и Индийского океанов / В. Г. Осипов, И. В. Кизеветтер, А. В. Журавлев. М.: Пищ. пром-сть, 1976. 64 с.

60. Пискунов И.А., Харченко А.М. Промысловые исследования тунцов в индийском океане. М. 1968. С. 344-373.

61. Смирнов Н.П., Вайновский П.А., Титов Ю.Э. Статистический диагноз и прогноз океанологических процессов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 198 с.

62. Тамашевича В.Н. Многомерный статистический анализ в экономике / Под ред.. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.

63. Харман Г. Современный факторный анализ. – М.: Статистика, 1972. – 486 с.
64. Чернышков П.П. Океанологические условия в районах Канарского и Бенгельского апвеллингов и прогнозирование состояния популяций пелагических рыб. Диссертация доктора географических наук (25.00.28 – Океанология). Чернышков Павел Петрович. Москва 2006г. 297с.
65. Чур В.Н. Биология и промысел полосатого, пятнистого, макрелевого и скумбровидного тунцов восточной части Атлантического океана //Автореф. дис.канд. биол. наук. - Севастополь, 1977 - 24с.
66. Юрасов Г.И. Исследование гидрологических условий на шельфе в районе дельты реки Меконг в период юго-западного муссона // Океанологические исследования в Тихом океане. Владивосток. ДВНЦ АН СССР. 1985. С. 56-60.
67. Brill, R., 1994. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement's models and stock assessments. *Fish. Oceanogr.*, **3** (3): 204-216.
68. CARTON-GIESE SODA. Режим доступа: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p0p2-4>
69. Collette, B.B. and C.E. Nauen, 1983. FAO Species catalogue, vol. 2. Scombrids of the worlds. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fish. Synop.*, 125 (2), Rome: 137 p.
70. DECAFIREP. Report of the first Vietnam tuna fishery annual catch estimates workshop (vtface-1). Da Nang 2012.
71. Doan Bo. A model for nitrogen transformation cycle in marine ecosystem. Proceedings Extended Abstracts Volume, Theme 1, Session 3: Biogeochemical Cycling and Its Impact on Global Climate Change, 6Th IOC/WESTPAC International Scientific Symposium, 19-23 April 2004, Hangzhou, China, Published by Marine and Atmospheric Laboratory, School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Japan, 2005, pp 54-58.

72. Doan Bo. About a marine ecosystem model and some results of application to open areas of centre Vietnam. *Journal of Science, VNU, Hanoi*, t XXII, No1AP pp.27-33 (2006).
73. Doan Bo. Fishing ground forecast in the offshore waters of Central Vietnam (experimental results for purse-seine and drift-gillnet fisheries) / Doan Bo, Le Hong Cau, Nguyen Duy Thanh // *VNU Journal of Science, Earth Sciences*. 2010. N 26. P. 57–63.
74. FAO [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/fishery/topic/16082/en#Brill/1994>.
75. Hiroshi Nakamura. Tuna Distribution and Migration [электронный ресурс] // URL, Режим доступа: <http://www.amazon.com/Tuna-distribution-migration-Hiroshi-Nakamura/dp/085238002X>.
76. Itano David G. The Reproductive Biology of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacores*) in Hawaiian Waters and the Western Tropical Pacific Ocean [электронный ресурс]: Project Summary/David G. Itano//URL, Режим доступа: http://www.soest.hawaii.edu/PFRP/biology/itano/itano_yft.pdf.
77. Lowe, T.E., R.W. Brill, and K.L. Cousins, 2000. Blood oxygen-binding characteristics of bigeye tuna (*Thunnus obesus*), a high-energy-demand teleost that is tolerant of low ambient oxygen. *Marine Biology*, 136: 1087-1098.
78. NOAA NCDC ERSSTv4 [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version4/.SST>
79. Pacific-Wide Analysis of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) using Length-Based, Age Structured Modeling Framework (MUTIFAN-CL)//URL [электронный ресурс], Режим доступа: http://www.soest.hawaii.edu/pfrp/stats/hampton_multifan_enhance.html
80. Report of the twelfth meeting of the standing committee on tuna and billfish [электронный ресурс] //URL, Режим доступа: http://www.spc.int/DigitalLibrary/Doc/FAME/Meetings/SCTB/12/RPT_SCTB12.pdf.

81. Sharp, G.D., 1978. Behavioural and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gears. pp 397-450 In G.D. Sharp and A.E. Dizon (eds), *The physiological ecology of tunas*, Academic Press, New York: 485 p.
82. Status of interaction of Pacific tuna fisheries in 1995 [электронный ресурс] / FAO, 1996//URL, Режим доступа: http://www.fao.org/fi/oldsite/eims_search/1_dett.asp?calling=simple_s_result&lang=en&pub_id=59588.
83. Sund, P.N., M. Blackburn and F. Williams, 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19: 443-512.
84. Thanh Viet Nguyen. Vietnamese tuna fisheries profile (Binh Dinh, Phu Yen and Khanh Hoa). Department of capture fisheries and fisheries resources protection. Ha Noi, November 2012
85. Thurstone L.L. Multiple factor analysis. Univ. Chicago Press, Chicago, 1974, 535 p.
86. Wyrcki K. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and Gulf of Thailand 1959-1961. Naga Report. 1961. V. 2.
87. Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn. Dự thảo Đề án tổ chức lại khai thác hải sản. Năm 2012.
88. Bùi Thanh Hùng (2010). Nghiên cứu các cấu trúc Hải dương phục vụ dự báo ngư trường vùng biển khơi Miền trung Việt Nam. Năm 2010.
89. Đào Mạnh Sơn và CTV. 2005. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu trữ lượng và khả năng khai thác nguồn lợi cá nổi (chủ yếu là cá ngừ vằn, ngừ vây vàng và ngừ mắt to) và hiện trạng cơ cấu nghề nghiệp khu vực biển xa bờ miền Trung và Đông Nam Bộ”. Hải Phòng, tháng 3/2005.
90. Đinh Văn Ưu và ctg. Tương quan biến động điều kiện môi trường và ngư trường nghề câu cá ngừ đại dương ở vùng biển khơi nam Việt Nam. Tạp chí khoa học ĐHQG HN, tXXI, No3PT, 2005.

91. Đinh Văn Ưu, Đoàn Văn Bộ, và nhk. Nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện môi trường lên kết quả đánh giá nguồn lợi và dự báo khai thác cá nổi xa bờ. KC 09- 2003

92. Đoàn Bộ và ctv. Ứng dụng và hoàn thiện quy trình công nghệ dự báo ngư trường phục vụ khai thác hải sản xa bờ. Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài khoa học công nghệ cấp Nhà nước KC09/06-10, năm 2010.

93. Đoàn Bộ. Một số kết quả tính toán năng suất sinh học của quần xã plankton vùng biển khơi nam Việt Nam. Tạp chí khoa học ĐHQG HN, tXXI, No3AP, tr.1-7, (2005).

94. Lê Đức Tố (1995). Luận chứng khoa học cho việc dự báo biến động sản lượng và phân bố nguồn lợi cá. Báo cáo tổng kết đề tài KH-CN cấp Nhà nước KT.03-10.

95. Nguyễn Bá Thông và nnk. Tiềm năng nguồn lợi và Nghề cá ngư ở Việt Nam

96. Nguyễn Văn Tư. Hiện trạng Thủy sản Việt Nam [электронный ресурс]. Chương 2. Режим доступа: <http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/nvantu/file/20TSDC/TSDC.pdf>.

97. Phạm Văn Huấn, Cơ sở Hải dương học, Nxb KH&KT, Hà Nội, 1991.

98. Phạm Văn Huấn, Tính toán trong hải dương học, Nxb ĐHQG, Hà Nội, 2003

99. Tổng cục Thống kê [электронный ресурс]. Директорат о общей статистике Вьетнама. Режим доступа: <https://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=717>

100. Tổng cục Thủy sản. Báo cáo quy hoạch ngành thủy sản Việt Nam [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fistenet.gov.vn/thong-tin-huu-ich/chuong-trinh-ke-hoach-1/quy-hoach-11 lieu-tra-co-ban/bao-cao-tom-tat.pdf>

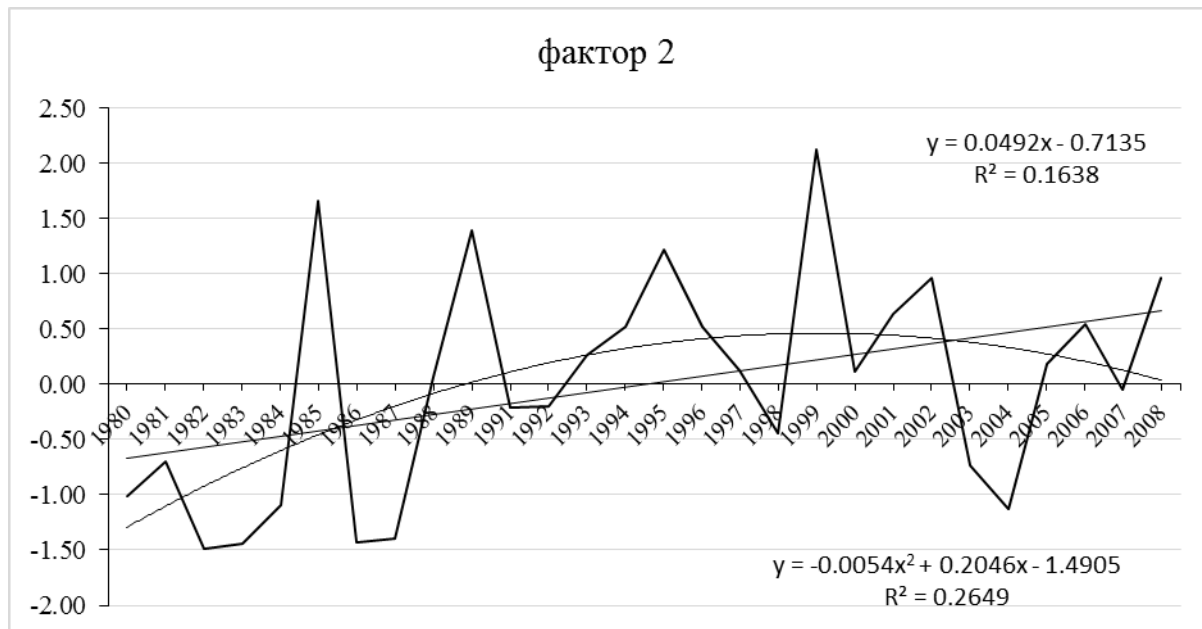
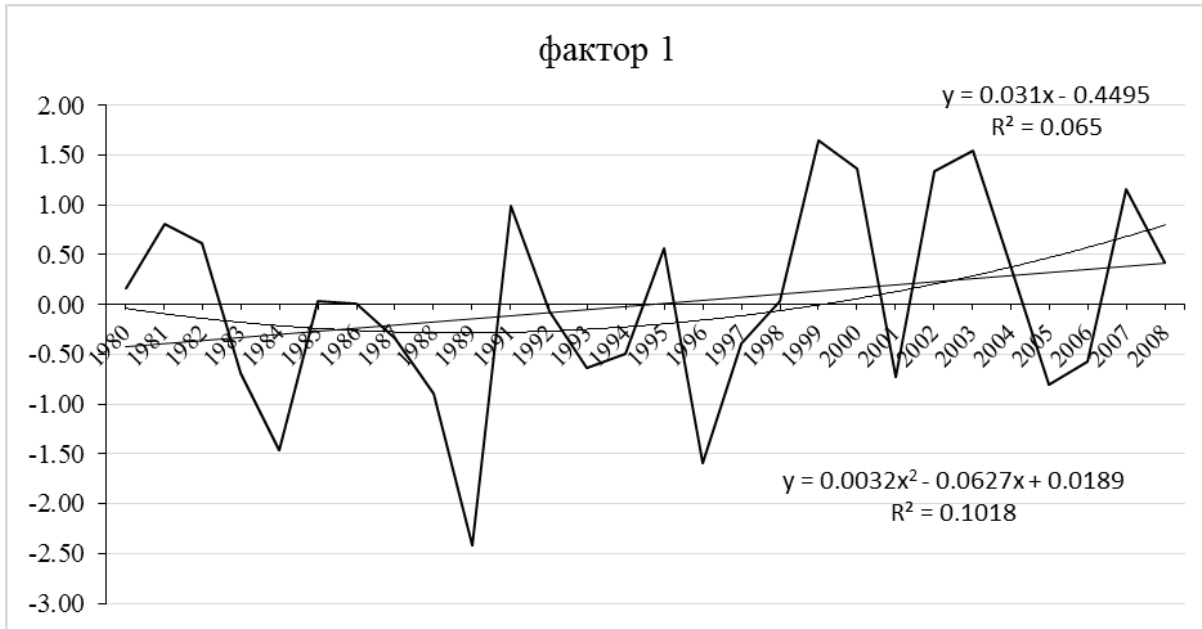
101. Tổng cục Thủy sản. Cục Khai thác và bảo vệ nguồn lợi thủy sản. Nguồn số liệu Báo cáo gửi WPCFC. Năm 2010.

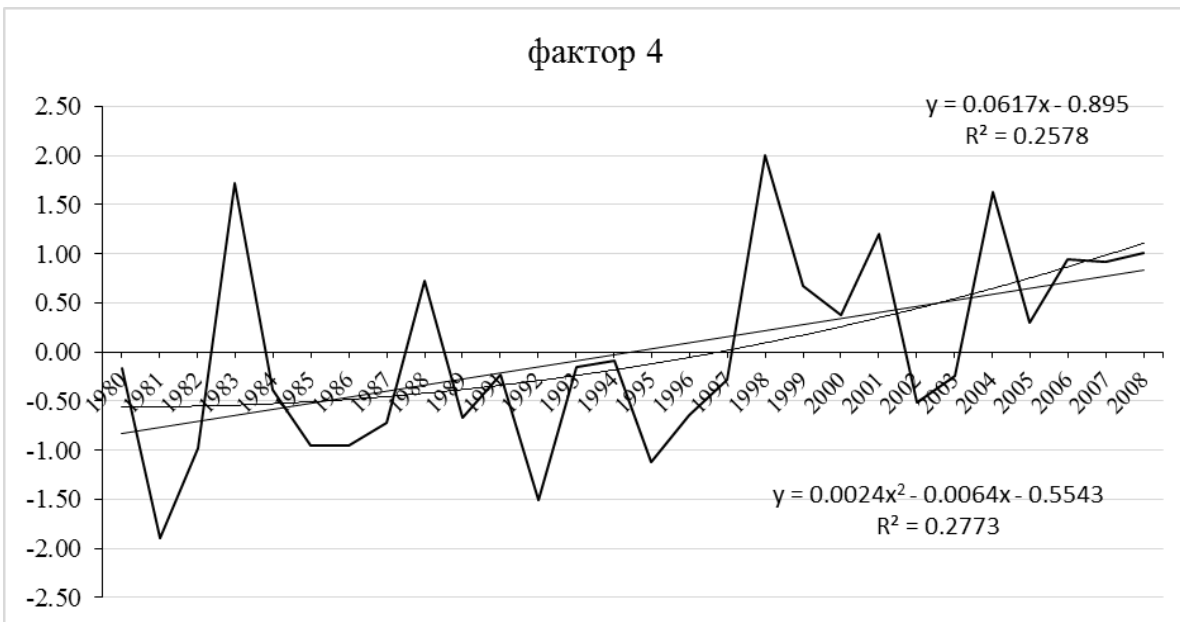
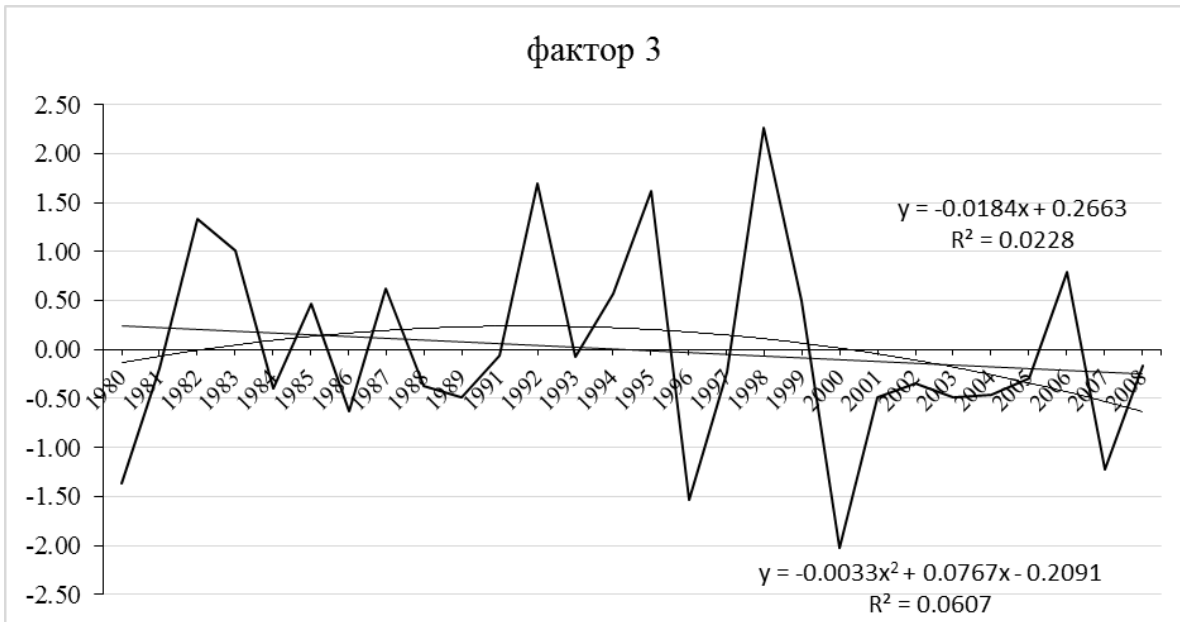
Приложение 1.

Среднее годовое (1980-2008 гг.) значение глубины изотермы 24 °С

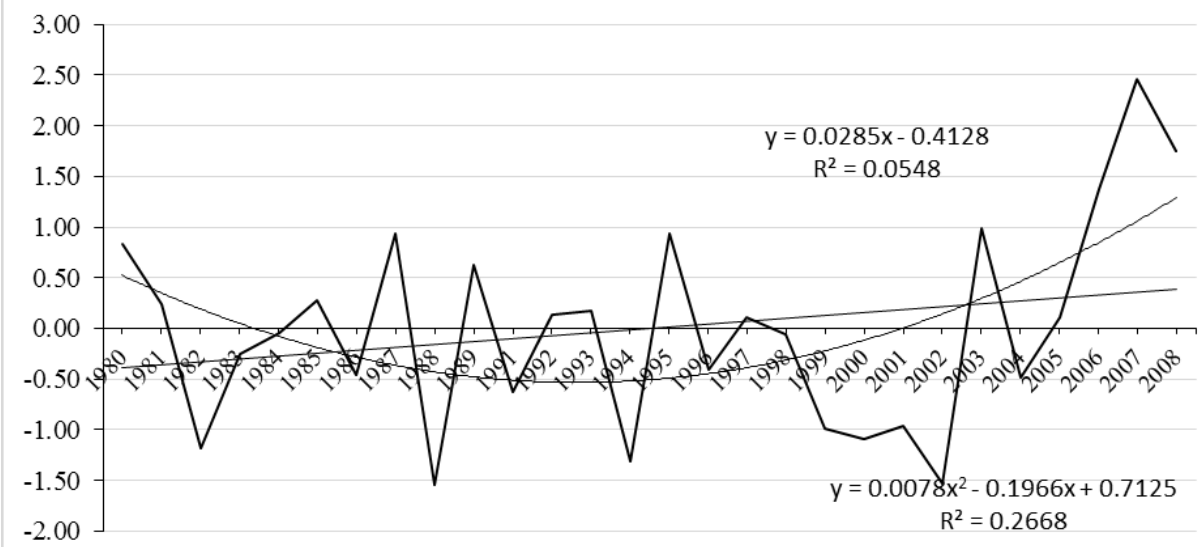
Годы	109E-17N	111E-17N	113E-17N	115E-17N	110E-15N	112E-15N	114E-15N	116E-15N	111E-13N	113E-13N	115E-13N	110E-11N	112E-11N	114E-11N	116E-11N	109E-9N	111E-9N	113E-9N	115E-9N	108E-7N	110E-7N	112E-7N	114E-7N
1980	44	63	73	69	49	66	61	66	59	68	67	61	73	79	73	76	67	72	74	65	66	68	69
1981	47	47	46	58	55	58	58	60	68	62	67	71	69	76	74	80	72	74	76	64	66	69	70
1982	45	57	54	61	53	53	58	66	55	60	63	73	74	68	69	82	80	73	74	62	67	69	63
1983	39	58	67	76	49	64	76	85	66	62	68	66	77	75	70	75	78	77	70	68	67	70	67
1984	32	45	49	53	40	62	68	67	48	56	66	54	66	68	75	74	75	72	74	61	64	68	65
1985	50	57	59	63	58	56	61	59	51	63	72	70	77	79	83	81	79	80	85	63	70	77	77
1986	45	55	57	53	49	60	63	62	40	57	64	60	68	70	71	78	74	72	70	63	63	66	67
1987	48	53	56	56	48	55	64	68	54	69	77	67	76	79	72	78	79	74	73	66	68	67	65
1988	40	51	71	72	39	50	63	70	50	52	64	57	62	68	75	78	69	73	74	64	65	73	72
1989	34	46	61	50	33	55	58	64	44	63	67	49	71	74	79	75	77	76	83	56	69	74	79
1990	39	48	57	61	49	61	68	75	58	62	69	70	77	82	77	81	85	87	86	60	77	79	77
1991	65	54	65	74	62	61	63	67	58	64	68	69	69	75	72	80	75	75	74	64	67	70	74
1992	45	49	47	57	50	53	54	69	62	61	73	73	80	77	77	84	82	78	78	61	68	70	68
1993	45	55	63	62	51	57	64	66	56	61	75	68	73	75	75	77	73	77	76	59	67	73	73
1994	35	55	60	60	51	52	63	72	49	52	68	64	68	69	77	84	74	77	78	59	65	75	72
1995	55	55	55	62	58	53	60	69	73	72	77	77	73	90	85	86	83	86	82	66	68	75	71
1996	42	45	56	57	37	41	58	61	44	54	69	48	61	69	77	72	65	76	79	62	60	70	71
1997	49	53	64	63	45	57	65	68	51	59	74	62	68	76	75	78	77	81	80	66	62	67	72
1998	55	66	74	85	60	62	74	84	71	65	81	78	77	79	83	81	84	80	74	66	76	71	66
1999	73	66	66	77	74	64	68	79	68	62	73	77	72	72	84	84	75	83	85	68	68	80	79
2000	60	65	75	71	66	68	68	70	54	50	68	68	58	69	82	78	66	72	80	63	60	69	70
2001	66	60	59	76	50	54	66	80	51	60	76	59	66	73	77	75	74	76	73	58	56	75	73
2002	68	71	68	61	64	60	58	62	52	52	65	64	64	74	78	78	77	82	78	64	64	74	73
2003	61	66	64	61	70	72	70	74	72	71	78	73	75	76	76	81	75	74	75	68	67	70	71
2004	53	72	77	70	61	67	75	81	54	65	75	63	63	71	73	79	74	73	71	66	67	69	67
2005	52	53	57	69	51	50	70	75	53	68	72	66	64	77	79	77	71	78	78	59	63	70	68
2006	54	62	65	64	59	62	75	81	58	72	84	70	77	81	88	81	78	78	76	64	75	73	73
2007	59	76	79	73	67	80	78	79	76	81	86	76	79	85	86	83	73	74	76	64	64	70	73
2008	57	70	64	75	61	67	76	86	69	72	82	75	79	83	93	82	74	79	83	70	68	71	74

Приложение 2.

Факторный анализ средних годовых (1980-2008 гг.) значений глубины изотермы 24 °С



фактор 5



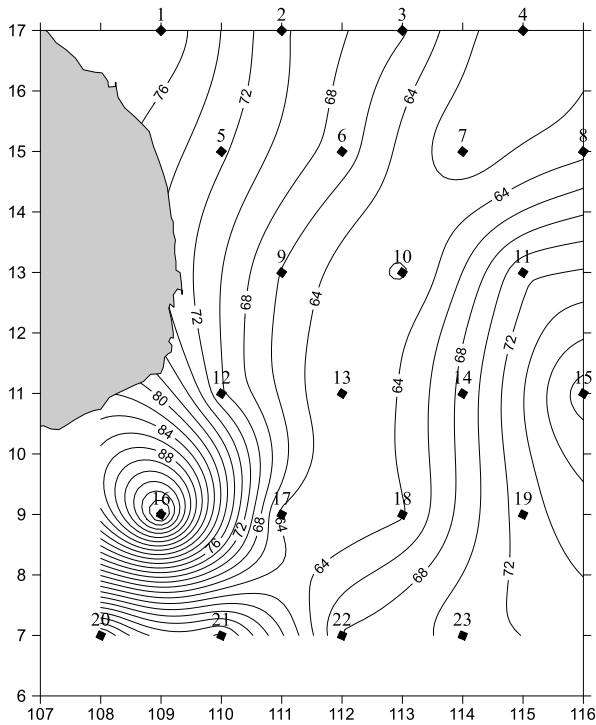
Приложение 3.

Среднегодовое месячное (1980-2008 гг.) значение глубины изотермы 24 °С

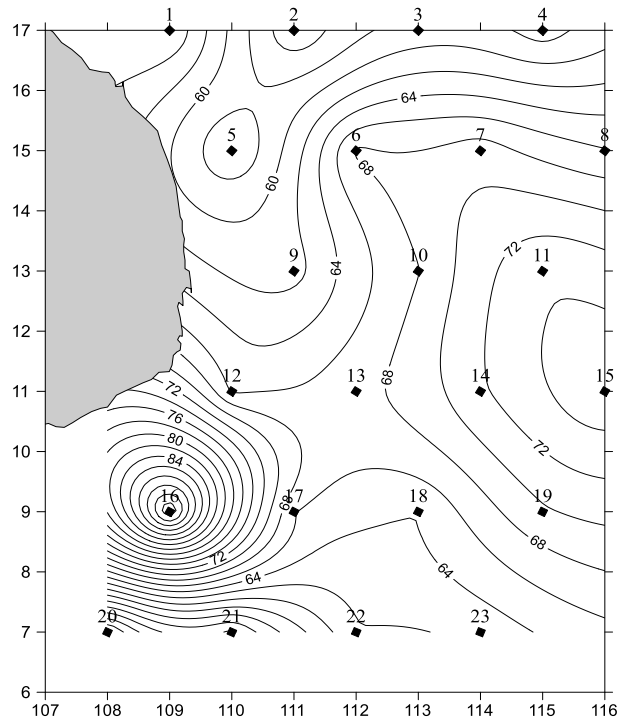
Точки	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
109E-17N	78	66	42	39	35	33	36	38	42	50	69	83
111E-17N	70	54	45	50	54	52	53	57	60	59	67	74
113E-17N	66	59	56	62	65	62	62	65	64	62	64	63
115E-17N	60	57	59	69	75	73	72	68	66	63	60	59
110E-15N	72	56	45	45	43	44	45	49	50	53	67	81
112E-15N	67	68	64	62	63	63	59	54	51	49	53	58
114E-15N	61	69	72	74	75	74	71	65	61	60	54	52
116E-15N	63	66	68	73	78	80	76	76	76	70	64	64
111E-13N	66	61	62	62	64	59	54	50	50	50	50	60
113E-13N	62	68	72	72	69	66	60	52	55	58	59	58
115E-13N	72	74	75	76	77	78	75	71	69	67	63	68
110E-11N	70	66	63	62	61	60	65	69	71	71	67	74
112E-11N	62	68	67	66	66	70	79	84	82	75	70	62
114E-11N	69	72	75	77	77	78	79	78	81	81	72	67
116E-11N	79	76	74	73	74	78	79	81	80	78	80	81
109E-9N	101	96	84	70	64	64	69	72	74	75	83	98
111E-9N	63	66	65	67	72	79	86	91	94	85	70	68
113E-9N	64	64	67	71	76	81	86	89	91	86	78	70
115E-9N	73	70	69	72	72	77	81	84	84	84	82	78
108E-7N	45	46	48	66	62	62	63	65	67	62	65	46
110E-7N	51	52	54	61	67	71	78	84	85	79	64	52
112E-7N	68	62	60	64	67	70	76	80	83	78	77	70
114E-7N	71	63	62	65	65	65	70	75	78	77	80	83

Приложение 4.

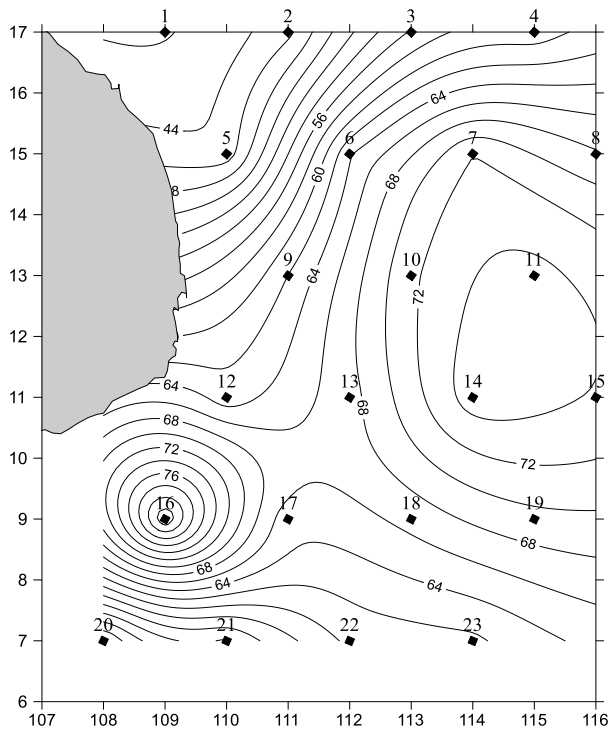
Распределение глубины Н24 по месяцам за период 1980-2008гг.



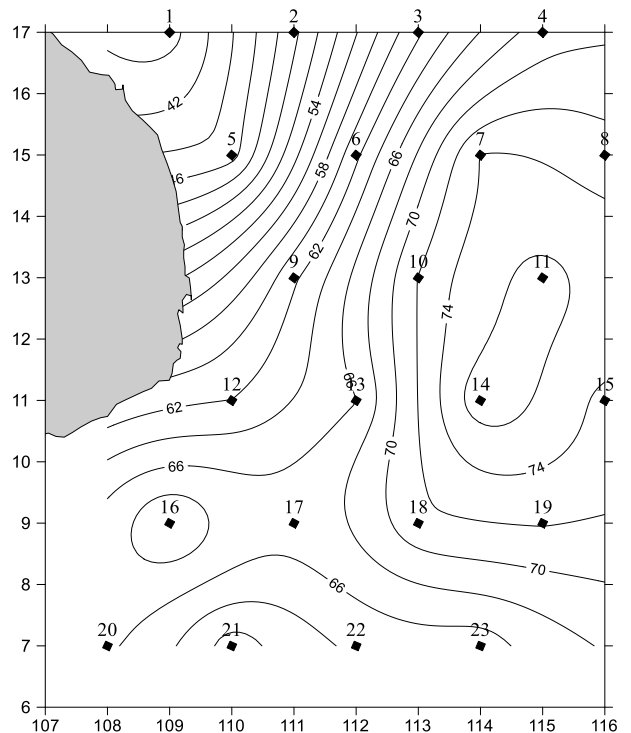
Январь



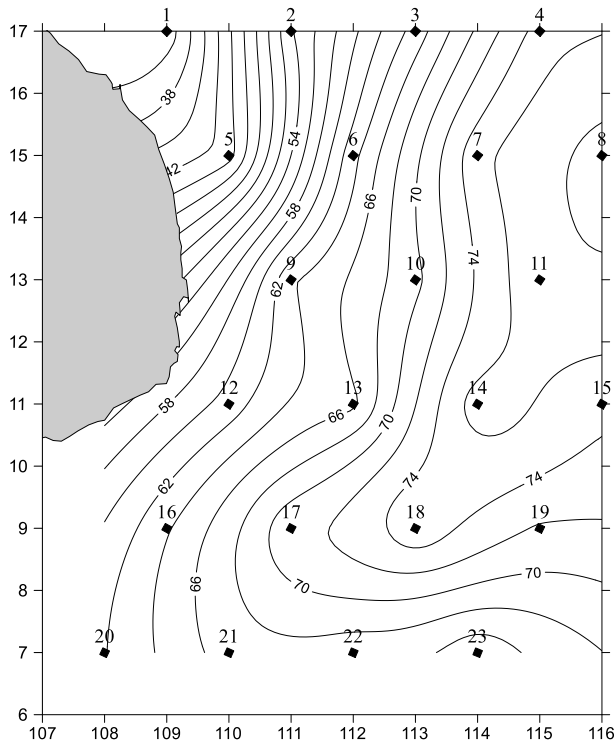
Февраль



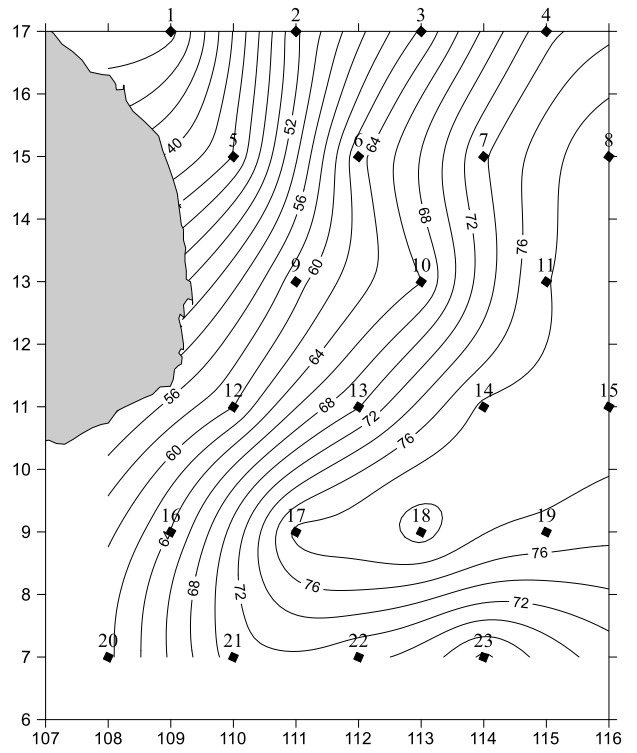
Март



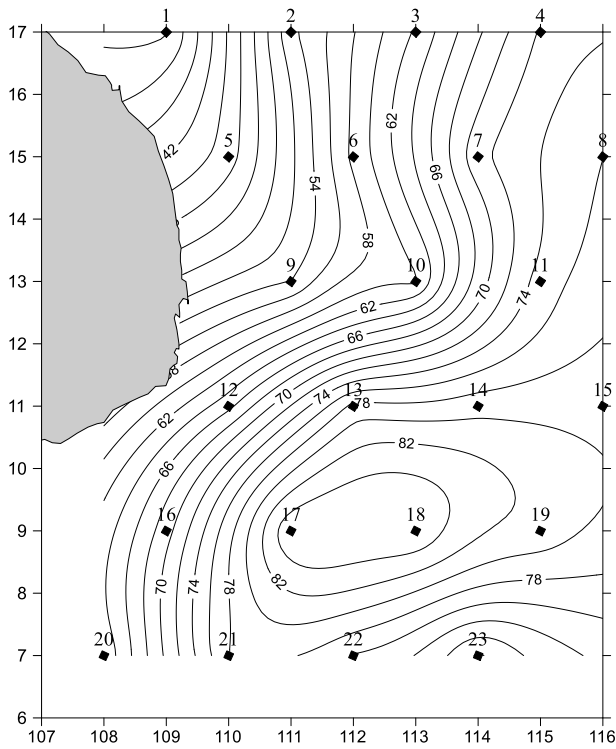
Апрель



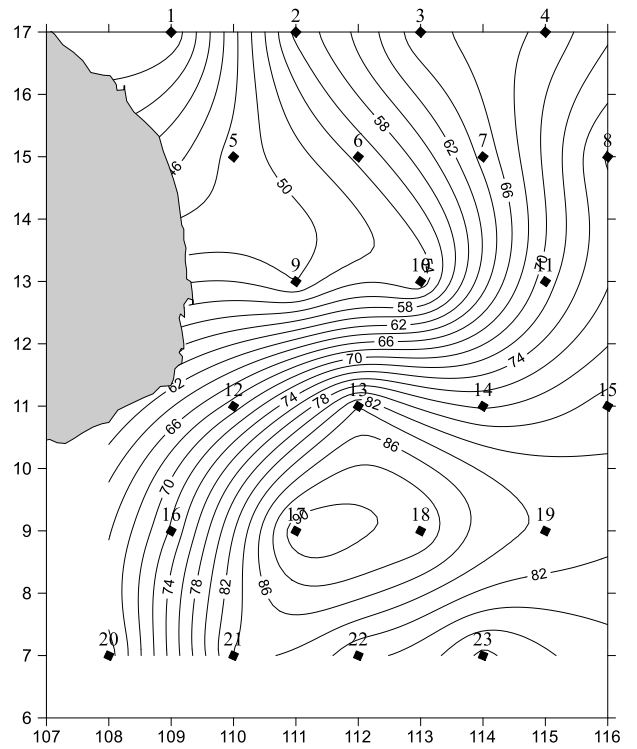
Май



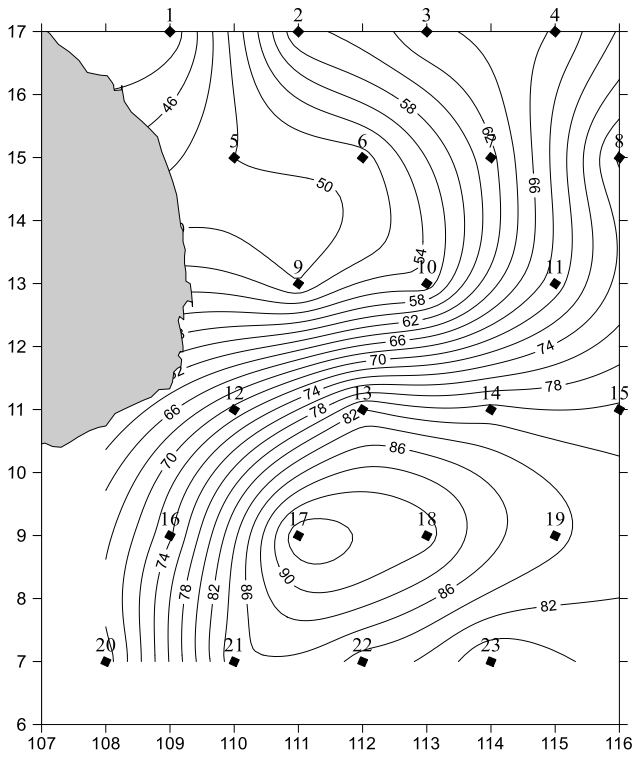
Июнь



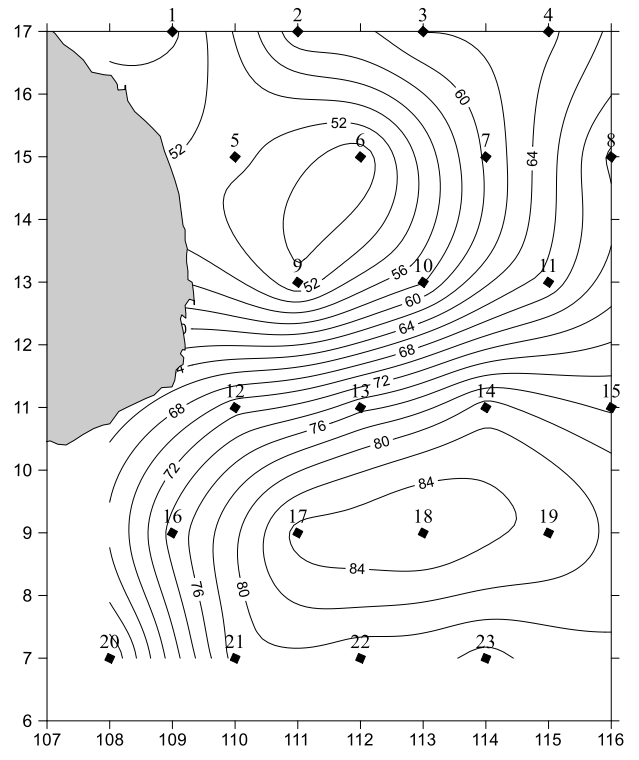
Июль



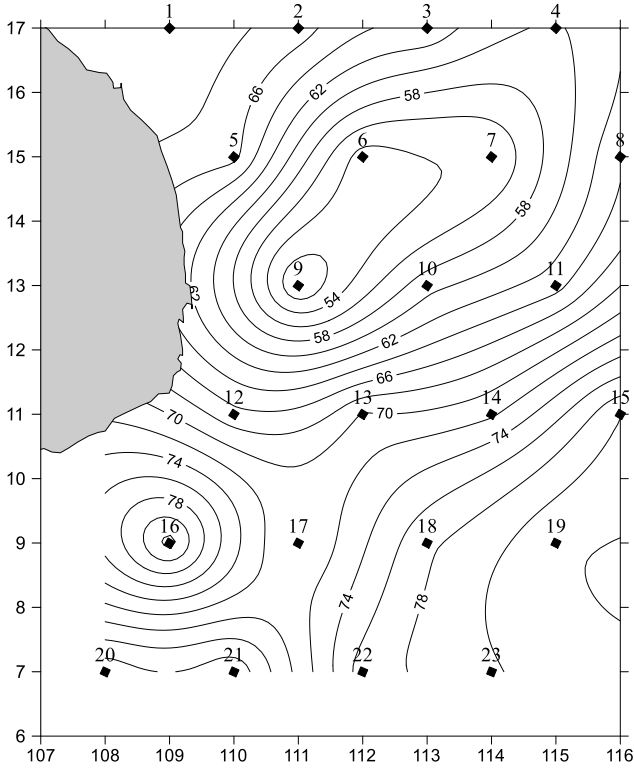
Август



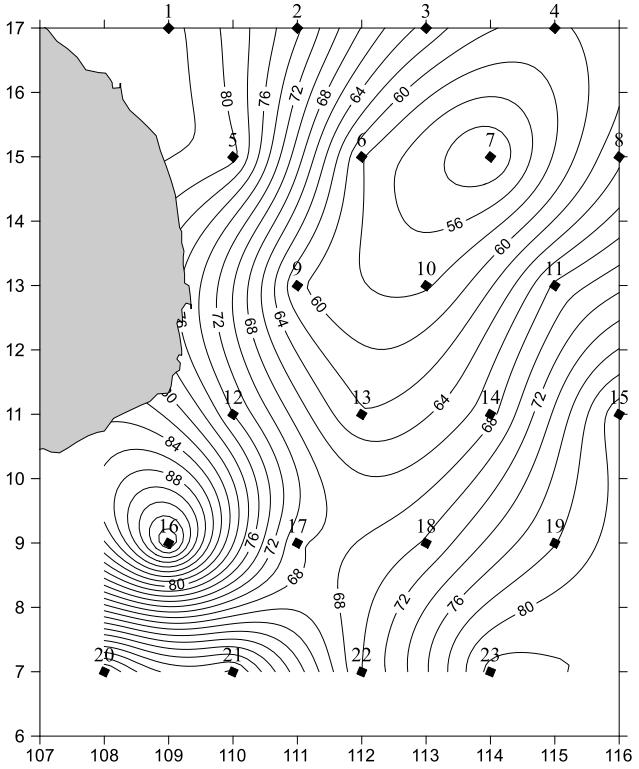
Сентябрь



Октябрь



Ноябрь

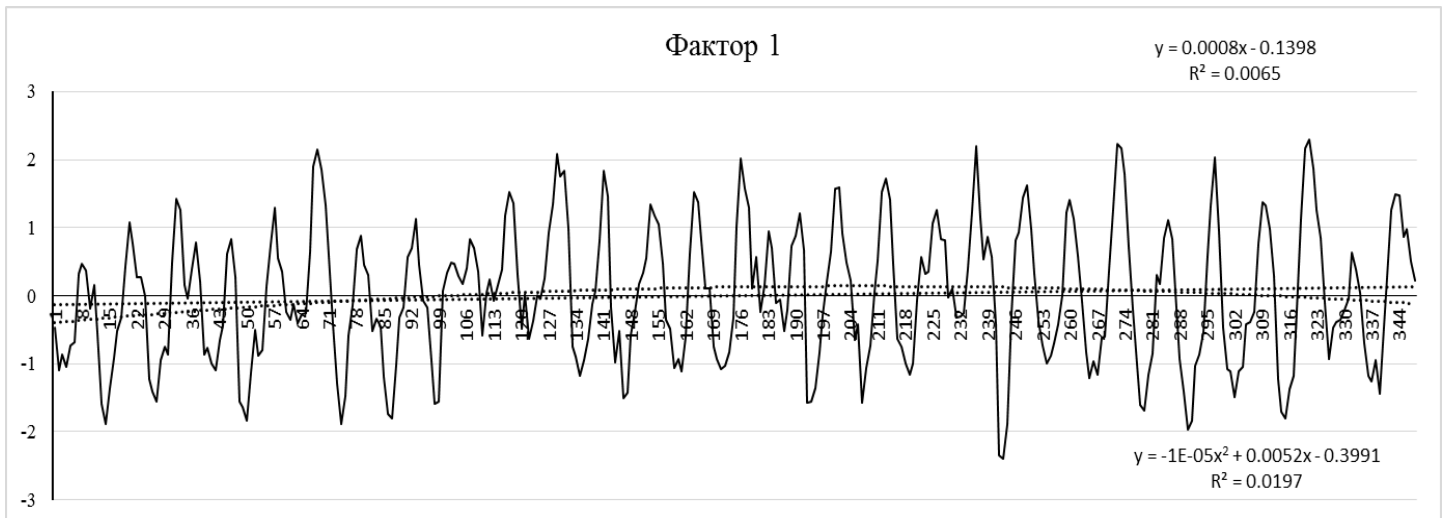
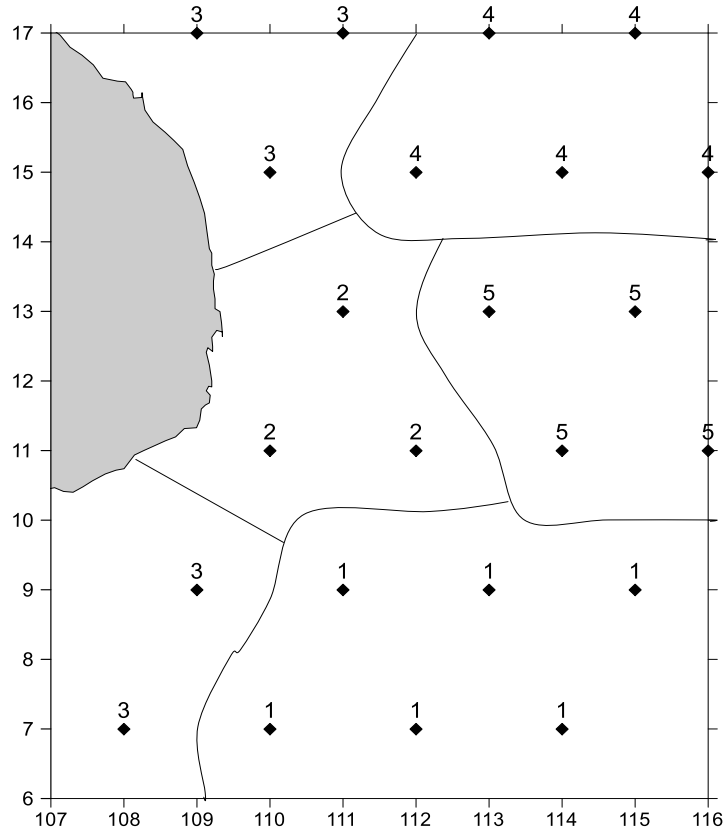


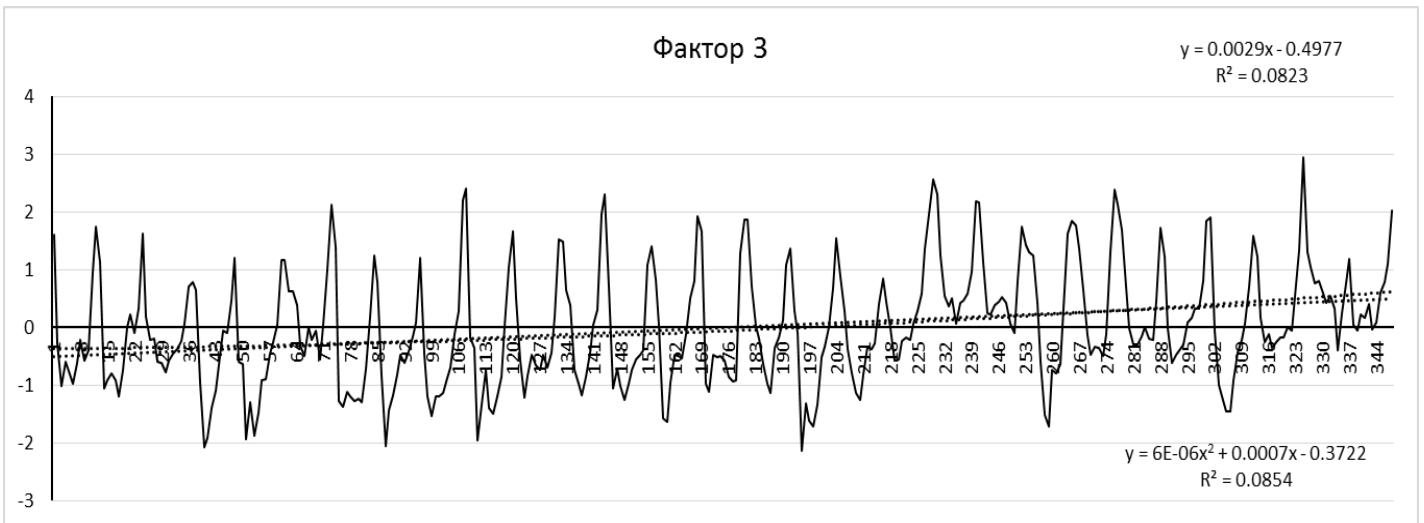
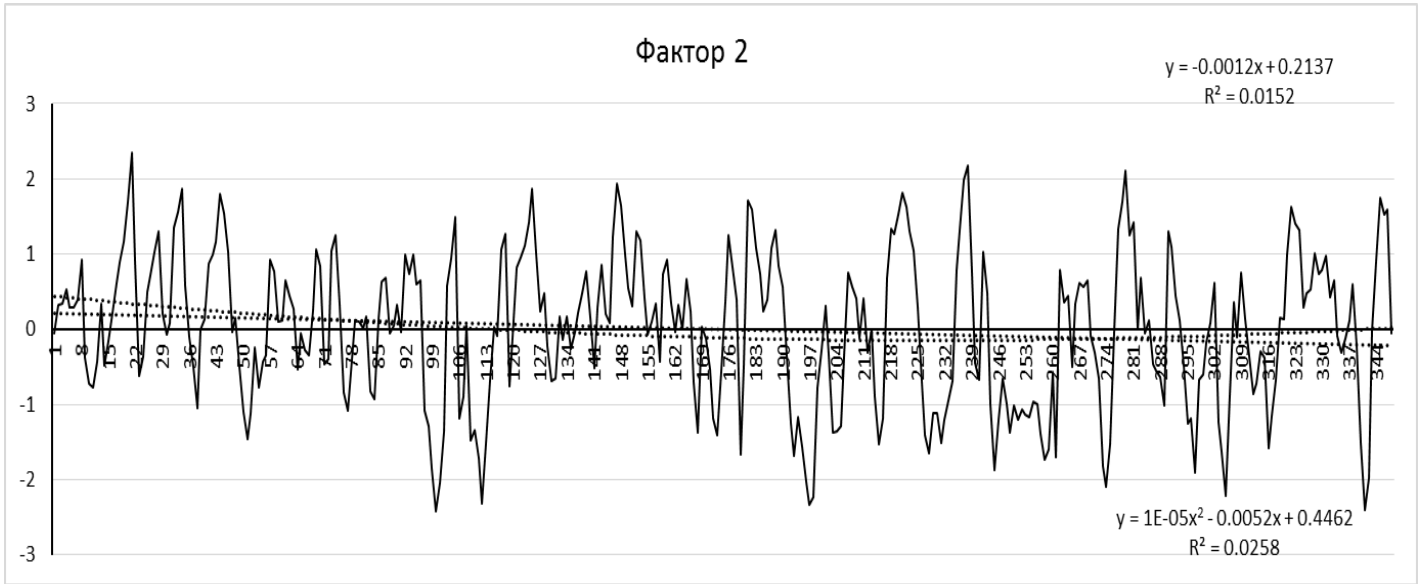
Декабрь

Приложение 5.

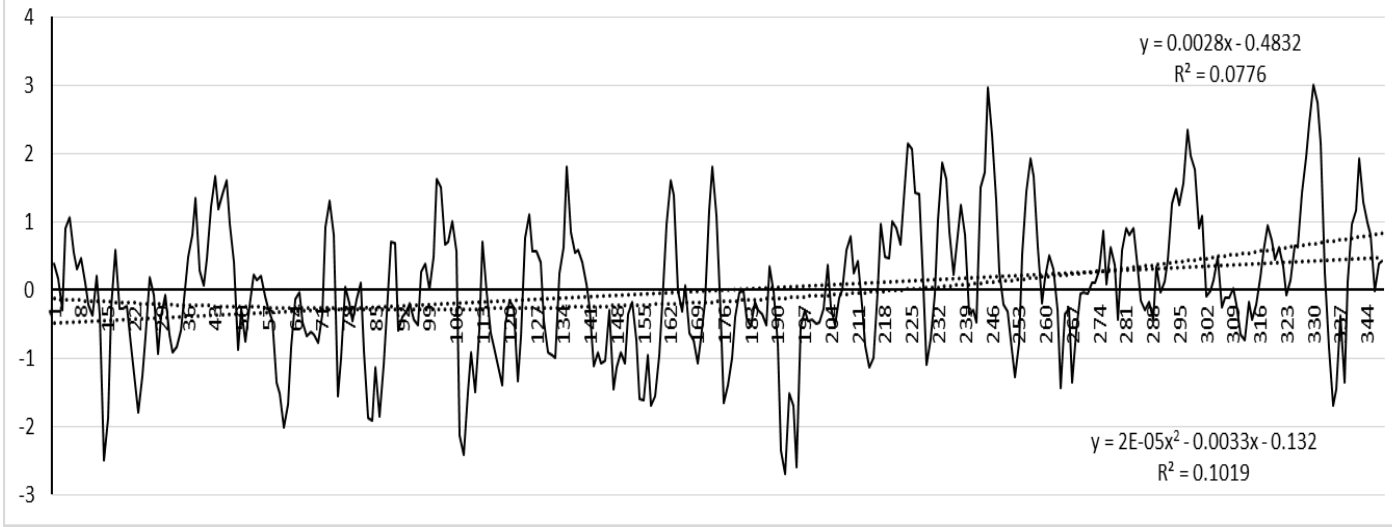
Факторный анализ для среднемесячного значения глубины изотерма 24°C

за период 1980-2008гг

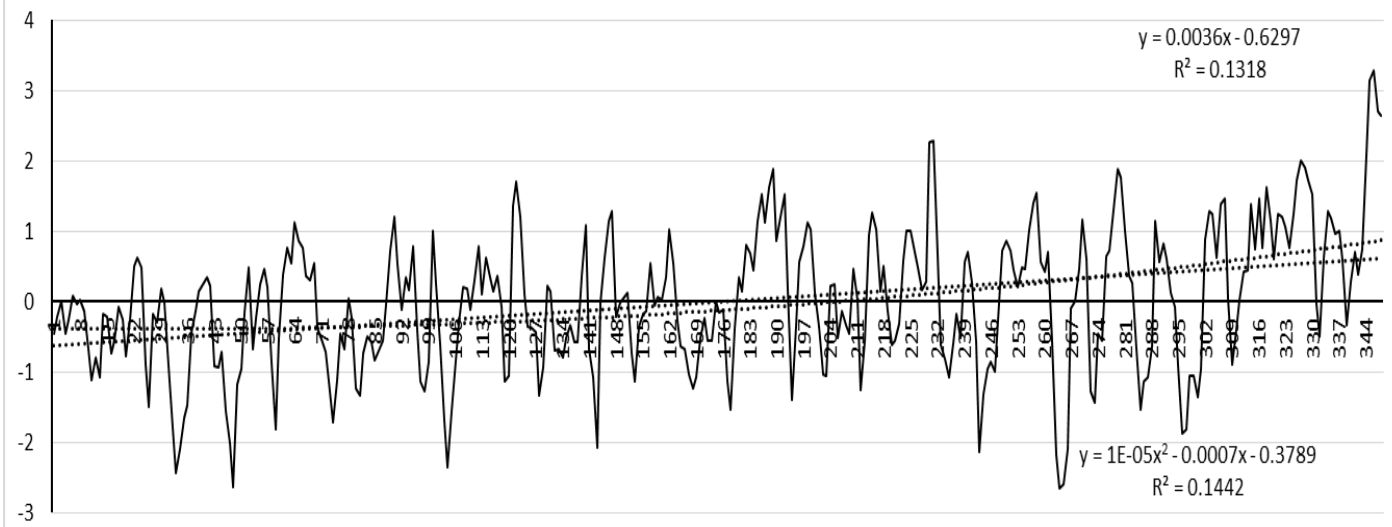




Фактор 4



Фактор 5



Приложение 6.

Среднее годовое (1982-2014 гг.) значение температуры поверхности вод ЮКМ, °С

	108.5E- 16.5N	110.5E- 16.5N	112.5E- 16.5N	114.5E- 16.5N	109.5E- 14.5N	111.5E- 14.5N	113.5E- 14.5N	115.5E- 14.5N	110.5E- 12.5N	112.5E- 12.5N	114.5E- 12.5N	109.5E- 10.5N
1982	27.2	27.3	27.4	27.5	27.5	27.5	27.7	28.1	27.7	27.9	28.3	27.9
1983	26.7	27.2	27.7	28.0	27.4	27.8	28.4	28.5	27.9	28.5	28.7	28.1
1984	26.6	26.9	27.1	27.3	27.1	27.3	27.5	27.8	27.4	27.7	28.0	27.6
1985	26.8	27.0	27.2	27.2	27.3	27.5	27.7	27.8	27.6	27.9	28.1	27.8
1986	26.7	26.9	27.0	27.1	27.1	27.3	27.6	27.8	27.4	27.8	28.1	27.5
1987	27.3	27.5	27.7	28.0	27.7	28.0	28.3	28.5	28.2	28.5	28.8	28.3
1988	27.2	27.5	27.9	28.1	27.6	28.0	28.4	28.6	28.0	28.4	28.8	28.0
1989	26.7	26.9	27.1	27.2	27.3	27.5	27.8	27.9	27.7	28.0	28.2	27.7
1990	27.0	27.1	27.3	27.4	27.5	27.6	27.8	28.0	27.8	28.0	28.2	28.0
1991	27.1	27.4	27.5	27.5	27.4	27.7	27.9	28.0	27.8	28.1	28.3	28.0
1992	26.8	27.1	27.2	27.3	27.2	27.4	27.6	27.9	27.7	28.0	28.2	27.9
1993	26.9	27.2	27.5	27.5	27.4	27.6	27.8	28.0	27.8	28.1	28.2	28.0
1994	27.1	27.4	27.6	27.5	27.5	27.6	27.9	28.1	27.6	27.9	28.2	27.6
1995	26.7	27.0	27.2	27.4	27.2	27.5	27.8	28.1	27.9	28.3	28.5	28.1
1996	26.6	27.1	27.4	27.5	26.9	27.5	28.0	28.2	27.5	28.2	28.5	27.7
1997	27.5	27.8	27.9	27.9	27.6	28.0	28.4	28.4	27.9	28.5	28.6	28.1
1998	27.8	28.4	28.7	28.9	28.3	28.8	29.2	29.4	28.7	29.3	29.5	28.9
1999	27.5	27.9	28.0	28.1	27.7	28.1	28.4	28.6	27.8	28.5	28.7	27.9
2000	27.2	27.7	27.8	27.9	27.6	28.0	28.3	28.5	27.8	28.3	28.5	27.7
2001	27.5	27.9	28.0	28.1	27.8	28.1	28.4	28.7	28.1	28.6	28.8	28.2
2002	27.1	27.6	27.8	27.9	27.6	28.0	28.3	28.4	28.0	28.5	28.6	28.2
2003	27.3	27.9	28.1	28.0	27.7	28.2	28.5	28.4	27.9	28.6	28.7	28.1
2004	26.9	27.4	27.6	27.6	27.3	27.7	28.0	28.1	27.5	28.1	28.3	27.5
2005	26.6	27.1	27.4	27.5	26.8	27.4	27.9	28.1	27.3	28.0	28.3	27.8
2006	27.0	27.4	27.5	27.6	27.4	27.7	28.1	28.4	27.7	28.3	28.5	27.9
2007	26.9	27.3	27.6	27.7	27.1	27.6	28.0	28.3	27.5	28.2	28.4	27.8
2008	27.0	27.4	27.5	27.6	27.3	27.6	28.0	28.3	27.5	28.1	28.4	27.6

2009	27.1	27.5	27.6	27.7	27.4	27.7	28.0	28.2	27.6	28.1	28.3	27.8
2010	27.1	27.9	28.1	28.2	27.9	28.5	28.7	28.8	28.5	29.0	29.0	28.7
2011	26.5	27.1	27.3	27.5	26.8	27.4	27.9	28.2	27.2	28.0	28.4	27.2
2012	27.3	27.8	27.9	27.8	27.5	28.0	28.3	28.4	27.6	28.3	28.5	27.8
2013	27.1	27.5	27.7	27.8	27.5	28.0	28.3	28.5	28.0	28.6	28.7	28.1
2014	27.0	27.6	27.8	27.8	27.4	28.0	28.4	28.4	27.8	28.6	28.7	28.1
Годы	111.5E-10.5N	113.5E-10.5N	115.5E-10.5N	108.5E-8.5N	110.5E-8.5N	112.5E-8.5N	114.5E-8.5N	107.5E-6.5N	109.5E-6.5N	111.5E-6.5N	113.5E-6.5N	
1982	28.2	28.5	28.7	28.1	28.3	28.6	28.8	28.3	28.5	28.6	28.8	
1983	28.3	28.7	28.8	28.3	28.4	28.6	28.7	28.6	28.5	28.5	28.5	
1984	27.8	28.2	28.4	27.8	27.9	28.2	28.4	27.9	28.1	28.2	28.3	
1985	28.1	28.3	28.5	27.9	28.3	28.4	28.6	28.2	28.4	28.6	28.6	
1986	27.9	28.2	28.4	27.7	28.0	28.3	28.5	28.0	28.2	28.4	28.5	
1987	28.6	28.9	29.1	28.5	28.7	28.9	29.0	28.6	28.7	28.8	28.8	
1988	28.4	28.8	29.0	28.2	28.5	28.8	29.0	28.5	28.6	28.8	29.0	
1989	28.1	28.4	28.5	27.8	28.3	28.6	28.6	28.1	28.3	28.6	28.6	
1990	28.2	28.5	28.6	28.1	28.4	28.6	28.7	28.4	28.5	28.6	28.7	
1991	28.3	28.5	28.7	28.1	28.4	28.7	28.7	28.3	28.5	28.7	28.8	
1992	28.3	28.5	28.7	28.0	28.3	28.5	28.7	28.1	28.3	28.5	28.6	
1993	28.3	28.5	28.6	28.1	28.4	28.5	28.6	28.2	28.4	28.5	28.5	
1994	27.9	28.2	28.5	27.7	28.1	28.3	28.6	27.9	28.1	28.5	28.7	
1995	28.5	28.8	29.0	28.1	28.4	28.8	28.9	28.3	28.5	28.8	28.9	
1996	28.1	28.4	28.6	27.8	28.1	28.5	28.6	28.0	28.2	28.5	28.8	
1997	28.5	28.9	28.9	28.4	28.7	29.0	29.1	28.6	28.8	29.0	29.1	
1998	29.2	29.6	29.7	29.1	29.3	29.5	29.5	29.2	29.2	29.3	29.3	
1999	28.2	28.7	28.8	28.0	28.2	28.7	28.9	28.3	28.4	28.6	29.0	
2000	28.1	28.5	28.6	28.0	28.2	28.6	28.7	28.1	28.2	28.5	28.9	
2001	28.6	29.0	29.2	28.4	28.6	29.0	29.2	28.5	28.7	28.9	29.3	
2002	28.5	28.8	28.9	28.4	28.7	28.9	29.0	28.6	28.8	28.9	29.0	
2003	28.4	28.8	28.9	28.3	28.6	28.9	29.0	28.5	28.7	28.9	29.0	
2004	28.0	28.4	28.6	27.9	28.2	28.5	28.7	28.2	28.4	28.6	28.8	

2005	28.2	28.6	28.7	28.2	28.5	28.8	28.8	28.5	28.6	28.8	28.9
2006	28.2	28.6	28.8	28.1	28.3	28.7	28.8	28.3	28.4	28.7	28.9
2007	28.1	28.5	28.6	28.0	28.2	28.5	28.7	28.2	28.3	28.5	28.8
2008	27.9	28.4	28.5	27.8	28.0	28.4	28.6	28.0	28.1	28.3	28.7
2009	28.1	28.4	28.5	28.0	28.2	28.5	28.7	28.3	28.4	28.5	28.8
2010	28.9	29.2	29.3	28.8	28.9	29.1	29.2	28.9	29.0	29.2	29.2
2011	27.7	28.3	28.6	27.6	27.9	28.3	28.6	27.8	28.0	28.3	28.6
2012	28.1	28.5	28.6	28.0	28.2	28.5	28.8	28.2	28.4	28.6	29.0
2013	28.6	28.9	28.9	28.3	28.7	29.1	29.0	28.6	28.8	29.1	29.3
2014	28.5	28.9	29.0	28.4	28.6	29.0	29.1	28.5	28.7	28.9	29.2

Приложение 7.

Тренды средних годовых (1982-2014 гг.) значений температуры поверхности вод в различных точках ЮКМ

№	с.ш – д.ш	Линейный		Нелинейный		$t_{кр}=2.03,$ $\alpha=0.05; N=33$
		R21	a1	R22	a2	$R_{кр}^2$
1	108.5E-16.5N	0.022	0.005	0.101	-0.001	0.1038
2	110.5E-16.5N	0.176	0.016	0.237	-0.001	
3	112.5E-16.5N	0.149	0.015	0.198	-0.001	
4	114.5E-16.5N	0.086	0.011	0.114	-0.001	
5	109.5E-14.5N	0.000	0.001	0.030	-0.001	
6	111.5E-14.5N	0.101	0.011	0.125	-0.001	
7	113.5E-14.5N	0.155	0.015	0.173	-0.001	
8	115.5E-14.5N	0.120	0.012	0.137	-0.001	
9	110.5E-12.5N	0.000	0.000	0.024	-0.001	
10	112.5E-12.5N	0.143	0.013	0.160	-0.001	
11	114.5E-12.5N	0.102	0.010	0.115	0.000	
12	109.5E-10.5N	0.000	0.000	0.010	0.000	
13	111.5E-10.5N	0.011	0.004	0.040	-0.001	
14	113.5E-10.5N	0.057	0.008	0.082	-0.001	
15	115.5E-10.5N	0.036	0.005	0.069	-0.001	
16	108.5E-8.5N	0.021	0.005	0.023	-0.0002	
17	110.5E-8.5N	0.016	0.004	0.032	-0.0005	
18	112.5E-8.5N	0.074	0.008	0.095	-0.0005	
19	114.5E-8.5N	0.098	0.008	0.130	-0.0005	
20	107.5E-6.5N	0.011	0.003	0.012	-0.0001	
21	109.5E-6.5N	0.023	0.004	0.028	-0.0002	
22	111.5E-6.5N	0.066	0.007	0.080	-0.0004	
23	113.5E-6.5N	0.318	0.015	0.337	-0.0004	

Приложение 8.

Характеристики моделей регрессии зависимости вылова тунца от температуры поверхности вод в различных точках ЮКМ

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(8)	p-level		Value
Intercept			502549.5	209353.3	2.40	0.04	Multiple R	0.92
110.5E-12.5N	-3.01	0.85	-67113.9	19030.3	-3.53	0.01	Multiple R ²	0.84
110.5E-12.5N	0.89	0.85	24565.8	23298.4	1.05	0.32	Adjusted R ²	0.72
110.5E-12.5N	-3.56	0.96	-84768.3	22937.9	-3.70	0.01	F(6,8)	7.05
110.5E-12.5N	5.49	1.77	124296.8	40106.0	3.10	0.01	p	0.01
110.5E-12.5N	-1.27	0.51	-41900.6	17049.2	-2.46	0.04	Std.Err. of Estimate	3812.68
110.5E-12.5N	1.22	0.53	26813.8	11574.5	2.32	0.05		

Годы	Модель 6 регрессии по вылову тунца и температуре	Регрессия вылов тунца по судам	Общий вылов по моделью 6	Фак. вылов
2000	2647.438	26675.35	29322.78435	33634
2001	1203.844	35631.35	36835.1892	35401
2002	-712.797	38895.57	38182.77425	37685
2003	-800.543	41478.28	40677.73408	37460
2004	6405.092	46914.73	53319.81829	50520
2005	4577.493	47829.97	52407.45973	52409
2006	-1091.55	49194.97	48103.41683	52573
2007	3058.68	49823.46	52882.14192	54211
2008	534.0721	52135.13	52669.2029	49903
2009	-6868.41	56575.81	49707.39916	44240
2010	-16183.2	57275.01	41091.76995	41665
2011	-4131.6	53225.17	49093.56665	49586
2012	-6632.73	68106.66	61473.93628	65544
2013	9079.806	69501.13	78580.93359	78633
2014	8914.454	71979.74	80894.19283	81778.32

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(6)	p-level		Value
Intercept			523155	162897.9	3.21	0.02	Multiple R	0.97
110.5E-12.5N	-3.32	0.48	-73999	10630.1	-6.96	0.00	Multiple R ²	0.95
113.5E-6.5N	0.80	0.32	26688	10568.0	2.53	0.04	Adjusted R ²	0.88
105.5E-6.5N	-1.88	1.08	-53193	30740.0	-1.73	0.13	F(8,6)	13.70
111.5E-10.5N	6.97	0.98	157942	22281.5	7.09	0.00	p	0.00
108.5E-8.5N	-5.63	1.10	-134257	26245.5	-5.12	0.00	Std.Err. of Estimate	2514.32
114.5E-8.5N	-1.33	0.31	-43980	10296.1	-4.27	0.01		
111.5E-14.5N	1.11	0.32	25681	7491.7	3.43	0.01		
106.5E-8.5N	2.97	0.99	76059	25283.8	3.01	0.02		

Годы	Модель 8 регрессии по вылову тунца и температуре	Регрессия вылов тунца по судам	Общий вылов по моделью 8	Фак. вылов
2000	4997.951	26675.35	31673.3	33634
2001	-836.476	35631.35	34794.87	35401
2002	-3032.2	38895.57	35863.37	37685
2003	-6302.11	41478.28	35176.16	37460
2004	4956.993	46914.73	51871.72	50520
2005	3322.21	47829.97	51152.18	52409
2006	2229.814	49194.97	51424.78	52573
2007	5856.303	49823.46	55679.77	54211
2008	-1578.88	52135.13	50556.25	49903
2009	-11721.2	56575.81	44854.64	44240
2010	-12980.3	57275.01	44294.68	41665
2011	-2875.23	53225.17	50349.94	49586
2012	-2468.98	68106.66	65637.68	65544
2013	7777.608	69501.13	77278.74	78633
2014	12654.5	71979.74	84634.24	81778.32