

На правах рукописи

**Нгуен Данг Киен**

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

Специальность 25.00.28 – Океанология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание  
ученой степени кандидата географических наук

Астрахань – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Астраханский государственный технический университет» и в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет».

**Научный руководитель:** Доктор географических наук, профессор  
**Малинин Валерий Николаевич**

**Научный консультант:** Доктор географических наук, профессор  
**Бухарицин Петр Иванович**

**Официальные оппоненты:** Доктор географических наук, профессор  
**Чернышков Павел Петрович**  
Кандидат географических наук, доцент  
**Старицын Дмитрий Константинович**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

Защита состоится 14 июня 2016 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.02 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. (812) 633-01-82, 372-50-92.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98. Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д.212.197.02.

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат географических наук

Воробьев В.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Для Южно-Китайского моря (ЮКМ) характерна исключительно высокая биологическая продуктивность вод, что способствует формированию здесь значительных промысловых запасов пелагических рыб (тунцы, южная сельдь, сардины, скумбрия и др.). Стремительный рост экономики и численности населения Вьетнама способствуют расширению национального промысла. Особое значение при этом имеет промысел тунца, как исключительно ценного в пищевом отношении и пользующегося неограниченным спросом у потребителя объекта. Тунец занимает 1-е место в структуре экспорта морских рыбопродуктов из Вьетнама в более, чем 60 стран мира (Doan Vo, 2010). В 2015 году объем этого экспорта составил более 408 млн. USD.

Интенсивный промысел тунца во Вьетнаме начал развиваться только с начала нынешнего столетия, когда Правительством страны была поставлена стратегическая задача резкого увеличения вылова за счет использования новых, более мощных рыболовных судов, реорганизации береговой инфраструктуры, применения новых технологий в переработке рыбной продукции, в расширении сотрудничества с другими странами в регионе и мире. Этому способствует также быстрый рост валового внутреннего продукта Вьетнама, который за последнее 15 лет вырос в 6 раз.

Очень важно отметить, что в настоящее время существует 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 (Dao Son, 2005). При этом общий допустимый улов принимается около 233 тыс. т в год, а добывается примерно 80 тыс. тонн в год.

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 годового вылова тунца.

#### **Материалы и методы.**

Основой для выполнения работы послужили:

- Данные по характеристикам биопродуктивности вод, 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. (Малинин, 2008; Чернышков и др., 2006).

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

1. Пространственно-временные закономерности глубины залегания изотермы 24 °С, 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 годовых значений вылова тунца в Южно-Китайском море.

#### **Научная новизна.**

Впервые выполнено промыслово-океанологическое обобщение имеющихся материалов для трех основных видов тунца (желтоперый, большеглазый и полосатый), составляющих промысловый запас Южно-Китайского моря. Получены оценки влияния 18 различных характеристик термического режима вод на комплекс из 8 параметров

биопродуктивности вод Южно-Китайского моря. Установлено, что максимальная корреляция (от -0,70 до -0,94) всех параметров биопродуктивности отмечается для глубины изотермы 24 °С. Второй по значимости является глубина изотермы 20 °С, третьей – температура поверхности моря. Со всеми указанными параметрами корреляция оказывается отрицательной. Это означает, что с заглублением 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 изменениях запасов тунца в Мировом океане.

Впервые построена статистическая модель межгодовых изменений 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. 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 тунцов 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 должны 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, соответствием 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, а также весь преподавательский состав кафедры промышленной океанологии РГГМУ и кафедры Инженерной экологии и природообустройства АГТУ 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.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

В главе приведен обзор физико-географических и гидрометеорологических характеристик Южно-Китайского моря. Суммированы и проанализированы результаты современных исследований, посвященных изучению физико-географических, климатологических, гидрологических характеристик, показаны особенности среды обитания промысловых гидробионтов с точки зрения формирования и распространения здесь пелагических рыб.

### **Глава 2. Материалы и методы исследования.**

#### **2.1 Объект исследования.**

Информационной основой для выполнения работы послужили:

- Данные по характеристикам биопродуктивности, вылову тунца и экономическим показателям, которые предоставлены сотрудниками Научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства Вьетнама Динь Ван Уй, Доан Ван Во, Буй

Тхань Хунг и др., Департаментом по рыболовству и сохранению биоресурсов Вьетнама и Департаментом общей статистики Вьетнама.

Объектами исследования были популяции желтоперого (*Thunnus albacares*), большеглазого (*Th. obesus*) и полосатого (*Katsuwonus pelamis*) тунцов, которые являются главными объектами рыболовства в офшорных водах центральной части Южно-Китайского моря. Для анализа использован уникальный временной ряд суммарного вылова тунцов вьетнамскими промысловыми судами в ЮКМ за период 2000-2015 гг. Район исследования параметров термического режима вод располагался в широтно-долготной зоне: 6-17° с.ш., 107-117° в.д. Именно в этом районе осуществляется промысел рыбы вьетнамскими судами.

2.2 Материалы исследования. В работе использовались следующие характеристики 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).

### 2.3 Статистические методы анализа данных, используемых в работе.

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. (Малинин, 2008; Чернышков и др., 2006).

## **Глава 3. Основные закономерности формирования биологической и промышленной продуктивности вод Южно-Китайского моря.**

### 3.1. Особенности распространения тунца в Мировом океане.

Промысловые ресурсы тунцов 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. 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. При этом доминирующей основой мирового вылова (особенно в последние годы) составляют полосатый (40%) и желтоперый (18%) тунец (ФАО, 2010; Леонтьев, 2002).

Тунцы обитают в широком диапазоне глубин: крупные тунцы – о поверхности до глубин 300-400 м, вертикальное распределение мелких тунцов ограничено глубинами до 100 м, хотя чаще всего они находятся в самом верхнем слое воды до 50 м. Обычно тунцы совершают миграции со скоростью 9-10 узлов, иногда – до 15-18 узлов. 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 (Белкин, 1976).

Весьма важно, что тунцы очень чутко реагируют на изменение температуры воды, причем для каждого их вида существует оптимальный температурный режим обитания (рис. 1) (Белкин, 1976; Doan Во 2010; Леонтьев, 2002). Аналогичным образом тунцы реагируют на изменение солености и прозрачности воды. Оптимальная соленость воды для них составляет 35,5 ‰, а прозрачность – 25–30 м.

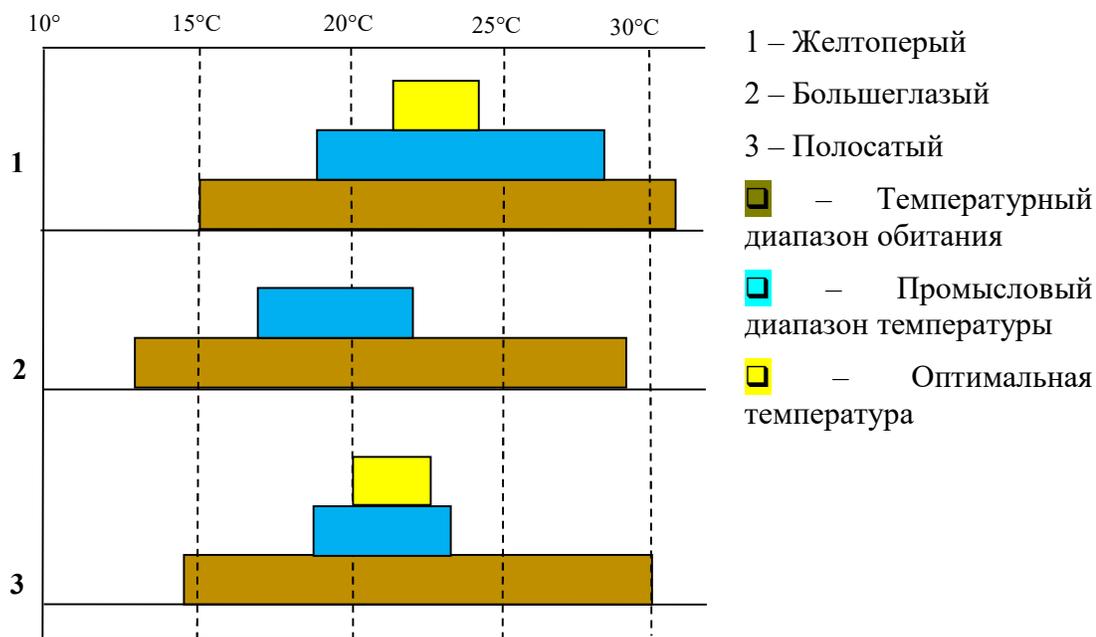


Рис. 1. Температурный диапазон обитания отдельных видов тунцов.

### 3.2. Особенности распределения и промысла тунцов на акватории Южно-Китайского моря.

В Южно-Китайском море распределение тунца и его промысла 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 (12°00 N - 17°00 N и от 110°00 E - 115°30 E). Во время юго-западного муссона (с апреля по сентябрь), тунец распределяется в южной части ЮКМ и у острова Спратли (6°00 N - 11°30 N и 108°00 E - 114°00 E).

На рис. 2 представлено распределение основных районов промысла тунца вьетнамскими судами. Промысловый район 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 (Doan Во, 2010).

Максимальный вылов отмечается в сентябре, который составляет 12,5 % от среднегодового улова. Меньше всего рыбы добывается в ноябре-декабре (около 7,3 %), т.е. внутригодовые различия в вылове рыбы невелики.

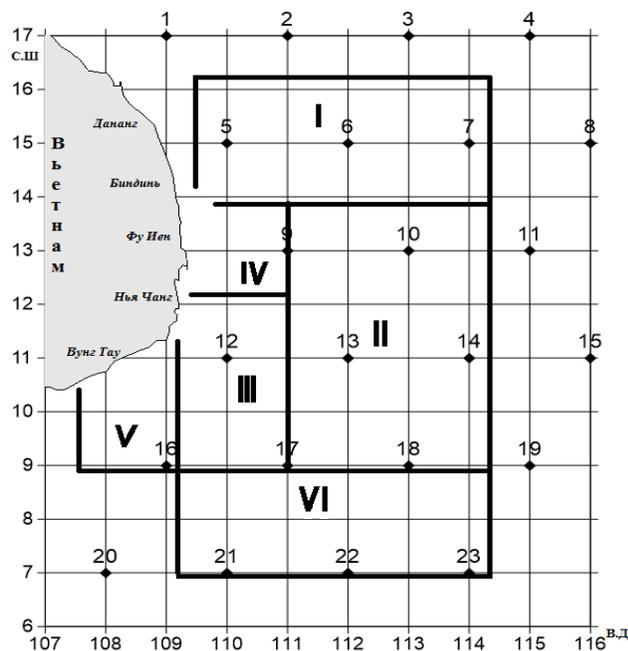


Рис. 2. Основные районы промысла тунца вьетнамскими судами : I – промысловый район Хоангса (Парасельские острова); II – Чыонгса (Острова Спратли); III – Фукуй; IV – Фуиен; V – Вунгтау; VI – южная часть Южно-Китайского моря. Квадратиками обозначены узлы географической сетки, в которых выбирались данные по температуре воды.

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

Как известно, из большого числа абиотических факторов наибольшее влияние на биологическую продуктивность вод Мирового океана имеет температура воды, воздействие которой на жизнедеятельность морских организмов исключительно многогранно (Малинин, Гордеева, 2009). Выполненные во Вьетнаме многолетние экспериментальные исследования различных температурных характеристик воды и параметров биопродуктивности вод моря позволяют оценить степень взаимосвязи между ними. Из 26 показателей 18 представляют собой различные характеристики температуры, а 8 – параметры биопродуктивности (Doan Vo, 2010). В таблице 1 приводятся выборочные коэффициенты корреляции между ними за период 1990-2009 гг. Предварительно отметим, что все характеристики биопродуктивности тесно связаны друг с другом, корреляция между ними не опускается ниже  $r=0,85$ .

Как видно из табл. 1 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 °C, 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.

Таблица 1

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	TV	DV	NSSC	NSTC	ToTV	ToDV	ToNSC	ToNTC
T <sub>0</sub>	-0.43	-0.43	-0.52	-0.53	-0.47	-0.59	-0.6	-0.63
ΔT <sub>0</sub>	-0.2	-0.24	-0.3	-0.31	-0.21	-0.31	-0.32	-0.35
H <sub>0</sub>	-0.51	-0.46	-0.56	-0.55	-0.55	-0.61	-0.62	-0.63
T <sub>1</sub>	0.05	0.09	0.12	0.12	0.04	0.1	0.12	0.13
H <sub>1</sub>	-0.23	-0.2	-0.23	-0.21	-0.23	-0.23	-0.24	-0.23
H <sub>1</sub> - H <sub>0</sub>	-0.11	-0.09	-0.1	-0.08	-0.1	-0.08	-0.1	-0.08
Grad Tz	-0.06	-0.14	-0.16	-0.2	-0.06	-0.19	-0.17	-0.22
H <sub>15</sub>	-0.37	-0.19	-0.16	-0.13	-0.38	-0.2	-0.16	-0.12
H <sub>20</sub>	-0.73	-0.48	-0.56	-0.5	-0.8	-0.65	-0.63	-0.57
H <sub>24</sub>	-0.80	-0.70	-0.87	-0.83	-0.84	-0.89	-0.94	-0.94
H <sub>20-15</sub>	0.15	0.17	0.26	0.25	0.19	0.28	0.31	0.31
H <sub>24-20</sub>	0.21	0.33	0.45	0.48	0.20	0.39	0.48	0.52
Grad T <sub>0</sub>	0.18	0.16	0.21	0.2	0.16	0.16	0.21	0.2
Grad T <sub>25</sub>	0.41	0.38	0.43	0.42	0.34	0.34	0.4	0.39
Grad T <sub>50</sub>	0.09	0.08	0.04	0.03	0.02	-0.02	-0.01	-0.03
Grad T <sub>75</sub>	-0.23	-0.24	-0.28	-0.29	-0.21	-0.25	-0.28	-0.29
Grad T <sub>100</sub>	-0.24	-0.26	-0.27	-0.27	-0.18	-0.21	-0.23	-0.24
Grad T <sub>150</sub>	0.04	-0.03	0.07	0.05	0.19	0.19	0.18	0.17

Где: TV - Средняя биомасса фитопланктона в слое фотосинтеза (мг/м<sup>3</sup>); DV - Средняя биомасса зоопланктона в слое фотосинтеза, мг/м<sup>3</sup>; NSSC - Средняя первичная продукция в слое фотосинтеза, мгС/м<sup>3</sup>/день; NSTC - Средняя вторичная продукция в слое фотосинтеза, мгС/м<sup>3</sup>/день; ToTV - Суммарная биомасса фитопланктона в водной колонке 1 м<sup>2</sup> слоя фотосинтеза, г/м<sup>2</sup>; ToDV - Суммарная биомасса зоопланктона в водной колонке 1 м<sup>2</sup> слоя фотосинтеза, г/м<sup>2</sup>; ToNSC - Суммарная первичная продукция в водной колонке 1 м<sup>2</sup> слоя фотосинтеза, гС/м<sup>2</sup>/день

Итак, совершенно очевидно значительное 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 годовое (1980-2008 гг.) распределение глубины изотермы 24 °С по данным CARTON-GIESE SODA. Нетрудно видеть, что H<sub>24</sub> 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<sub>24</sub> начинает уменьшаться.

Значительно более сложный характер свойствен сезонным изменениям среднегодовых месячных значений  $H_{24}$ , однако для большинства точек годовой ход  $H_{24}$  практически отсутствует и распределение  $H_{24}$  носит в основном случайный характер, который 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).

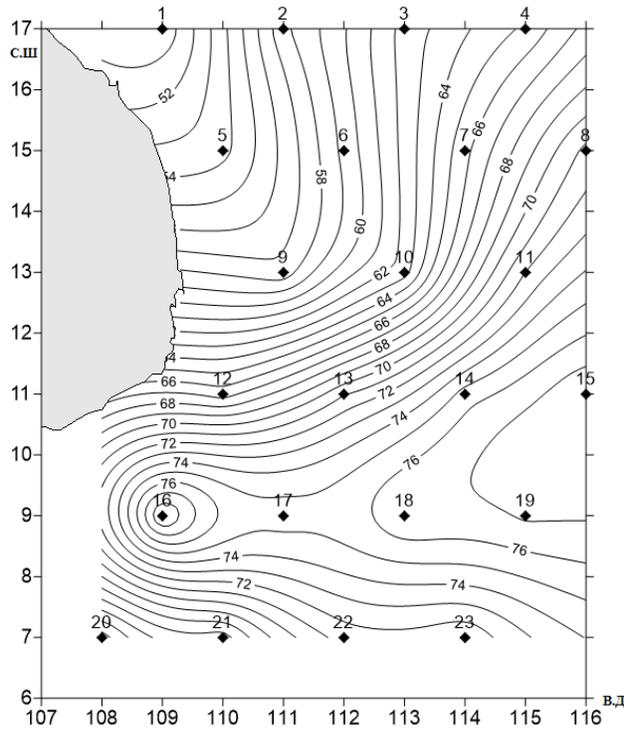


Рис.3. Пространственное распределение среднегодовой глубины изотермы 24 °С за многолетний (1980-2008 гг.) период времени в метрах.

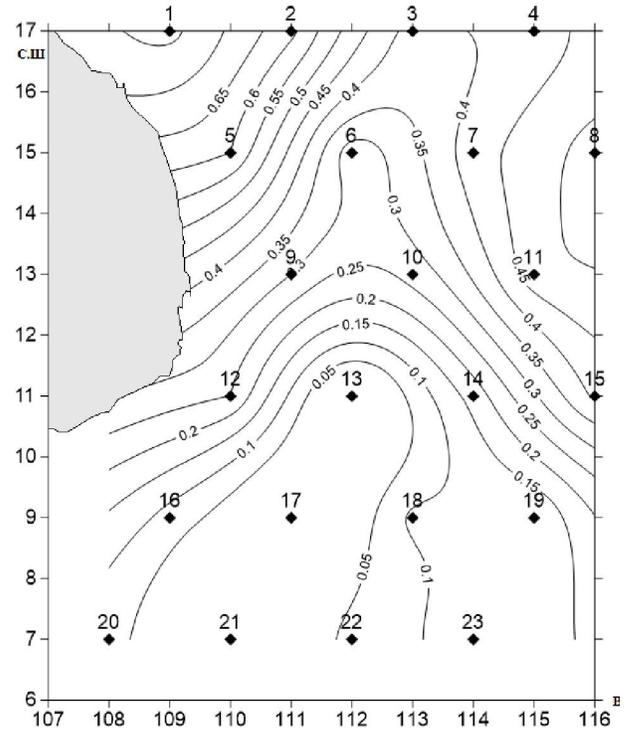


Рис.4. Пространственное распределение угловых коэффициентов линейного тренда глубины залегания изотермы 24 °С в м/год

Учитывая сравнительно небольшую длину временных рядов  $H_{24}$  ( $n=29$ ), расчет циклических колебаний нецелесообразен, поэтому был выполнен расчет только линейных трендов годовых значений  $H_{24}$  для всех точек выбранной акватории. Пространственное распределение угловых коэффициентов тренда ( $Tr$ ) представлено на рис. 4. Как видно из рисунка, тренды на всей акватории моря являются положительными, т.е. отмечается тенденция к углублению изотермы 24 °С. Максимальные значения тренда приурочены к мелководной северо-западной части района. При этом значимые тренды, т.е. отклоняющиеся от нуля неслучайным образом, свойственны величине  $Tr \geq 0,35$ . Наличие положительных трендов означает, что 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  $23 \times 29$  была подвергнута классическому факторному анализу. Анализ собственных чисел показал, что можно

ограничиться первыми пятью факторами, которые описывают 78 % дисперсии исходного поля. В табл. 2. 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 2

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 районирования акватории ЮКМ по межгодовым колебаниям  $H_{24}$  представлены на рис. 5. 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 пятый район служит буферной зоной между первым и четвертым районами.

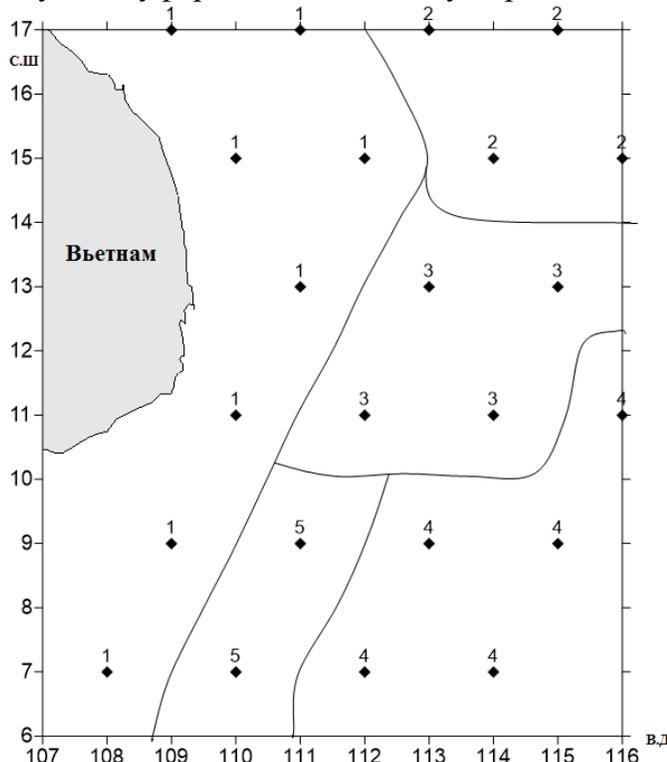


Рис. 5. Районирование центральной части акватории Южно-Китайского моря по межгодовой изменчивости  $H_{24}$  методом факторного анализа.

Выше было показано, что 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), причем изменения ее носят преимущественно случайный характер.

Таблица 3

Сезонный ход среднемесячных среднемноголетних 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

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

### 4.1. Современное состояние добычи тунца.

ЮКМ является очень важным промысловым районом, где ведут промысел 10 ближайших к акватории моря стран и он имеет чрезвычайно важное значение для развития экономики и обеспечения морепродуктами населения Вьетнама. В последние десятилетия отмечается довольно быстрый прирост народонаселения Вьетнама и значительный рост экономики страны. За период 2000-2014 гг. численность населения возросла примерно на 15 %, а валовый внутренний продукт вырос в 6 раз! 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. Так, число промысловых судов за рассматриваемый период увеличилось более чем в 3 раза, а их суммарная мощность – более чем в 4 раза.

За рассматриваемый период (2000-2014 гг.) суммарный годовой вылов тунца вьетнамскими судами увеличился более чем в 2 раза и достиг в 2014 году 80 000 тонн (рис. 6). При этом промысел тунца вьетнамскими судами в ЮКМ ведется четырьмя основными способами (в % от его общего вылова): это жаберные сети (50%), кошельковый (29%), удебный и ярусный (21%) лов. Сравнительный анализ вылова различных видов тунца свидетельствует, что 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.

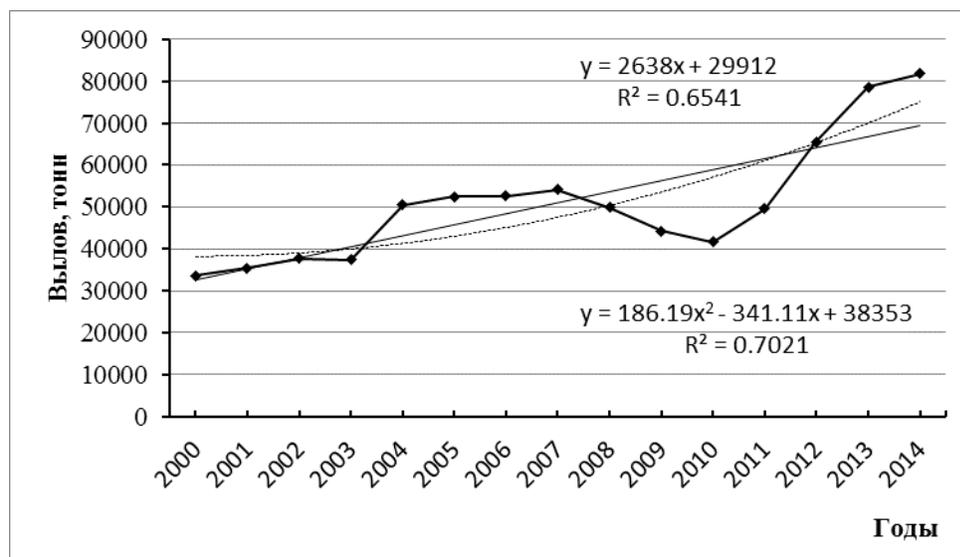


Рис. 6. Общий вылов тунца вьетнамскими судами в Южно-Китайском море в тоннах.

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

В качестве экономических факторов в данной работе рассматривались количество промысловых судов, их суммарная мощность, валовый внутренний продукт (ВВП), численность населения Вьетнама. Для оценки степени их связности с выловом рыбы использован непараметрический коэффициент корреляции Спирмена (табл. 4).

Таблица 4.

Оценки непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена между экономическими факторами и выловом тунца

	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. 5 видно, 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

( $r=0.87$ ). Отсюда следует, что вылов тунца ( $V$ ) в значительной степени определяется экономическими причинами, в то время как роль океанологических условий в вылове тунца является второстепенной.

С помощью метода наименьших квадратов была рассчитана регрессионная модель с количеством промысловых судов  $N$ :

$$V = V_{\text{эконом}} + V_{\text{океан}} = 7495 + 1.964N + \delta V, \quad (1)$$

где  $\delta V$  – 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 построение модели для компоненты  $\delta V$ , в которой исходными переменными были приняты аномалии ТПМ, выбранные из архива NOAA NCDC ERSST.

Для построения модели в виде:

$$\delta V = f(b_j; \Delta \text{ТПМ}_j), \quad (2)$$

где  $b_j$  – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению, использовался метод включения переменных пошагового алгоритма модели множественной линейной регрессии. После этого проводился детальный анализ основных параметров моделей (коэффициент детерминации, стандартная ошибка модели, критерий Фишера,  $p$ -level коэффициентов регрессии) на значимость на каждом шаге. До 8 шага включительно параметры модели были значимыми, однако, начиная с 9 шага, в модели появились коэффициенты регрессии, незначимые по критерию Стьюдента. Таким образом, в качестве оптимальной модели было принято уравнение с 8 переменными аномалий температуры воды:

$$\delta V = b_0 + b_1 \Delta \text{ТПМ}_1 + \dots + b_8 \Delta \text{ТПМ}_8, \quad (3)$$

которое описывает 95 % дисперсии ряда  $\delta V$ , 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 приобретает вид:

$$V = a_0 + a_1 N + \sum_{i=0}^8 b_i \Delta \text{ТПМ}_i \quad (4)$$

Данная модель описывает 98 % дисперсии исходного временного ряда вылова тунца, а случайная ошибка вылова по модели составляет 1590 т/год, т.е. 3 %.

#### 4.3. Методологические аспекты прогнозирования вылова рыбы.

Проблема долгосрочного прогноза вылова тунца представляется очень сложной уже по той причине, что для коротких временных рядов невозможно исследовать и выявить присущие им внутренние закономерности изменчивости и частотную структуру. В принципе, применительно к рассматриваемой проблеме, методы прогнозирования целесообразно разбить на 3 группы: экспертные, экстраполяционные и статистические. Учитывая короткую длину временного ряда вылова рыбы и то, что линейный тренд описывает преобладающую долю его дисперсии, наиболее приемлемым вариантом разработки долгосрочного прогноза вылова тунца являются методы экстраполяции, основанные на статистических моделях.

#### 4.4. Прогнозирование вылова тунца в Южно-Китайском море.

В работе впервые предложена методика долгосрочного прогноза годовых значений вылова тунца на основе экстраполяции временного ряда при его аппроксимации полиномиальной моделью и авторегрессионной моделью второго порядка. В работе реализованы две численные процедуры. Первая состояла в выделении линейного тренда и аппроксимации остатков, полученных после его исключения полиномиальной моделью.

Расчитанное уравнение линейного тренда имеет вид:

$$V = a_0 + a_1t + \delta V^* \quad (5)$$

где  $t$  – время,  $\delta V^*$  – остатки. Уравнение (5) описывает 65 % дисперсии исходного ряда и имеет стандартную ошибку равную  $\sigma=8288$  т/год. Использование программного комплекса «Аппроксимация», реализующего несколько десятков различных нелинейных формул, показало, что самым точным способом аппроксимации остатков  $\delta V^*$  является полином 5 степени, т.е.

$$\delta V^* = b_0 + b_1t + b_1t^2 + \dots + b_5t^5. \quad (6)$$

Коэффициент детерминации этой зависимости  $R^2=0.84$ , а среднеквадратическая ошибка равна  $\sigma=4236$  т/год. Суммируя теперь составляющие в формулах (5) и (6), получим вылов рыбы, функционально зависящий только от времени:

$$V = a_0 + b_0 + (a_1 + b_1)t + b_1t^2 + \dots + b_5t^5. \quad (7)$$

Данное уравнение описывает 95 % дисперсии исходного ряда и имеет стандартную ошибку равную  $\sigma=3250$  т/год, которая составляет 5 % от среднего значения.

Другой вариант построения экстраполяционной модели состоит в использовании применительно к остаткам в формуле (5) авторегрессионной модели вида:

$$X^o(t) = \alpha_1 X^o(t-1) + \alpha_2 X^o(t-2) + \dots + \alpha_p X^o(t-p) + Z(t) \quad (8)$$

где  $X^o(t)$  – центрированный случайный процесс,  $Z(t)$  – белый шум. Для оценки порядка модели авторегрессии воспользуемся частной автокорреляционной функцией (ЧАКФ). 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  $r(\tau_1)$ . На рис. 7 представлен график ЧАКФ, из которого видно, что на первых двух сдвигах отмечается высокая частная корреляция, превышающая критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости  $\alpha=0,05$  ( $r_{\text{кр}} = 0.50$ ). 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  $p=2$ .

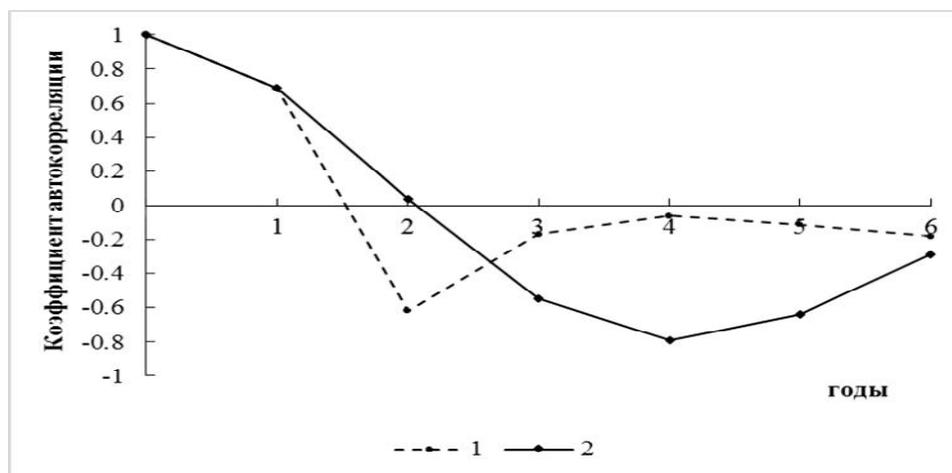


Рис. 7. График частной (1) и общей (2) автокорреляционной функции значений  $\delta V^*$ .

После расчета коэффициентов авторегрессии методом Юла-Уокера, несложно по формуле (9) вычислить значения  $\delta V^*$ , складывая которые с трендовой компонентой получаем оценки вылова тунца.

Прогноз по линейному тренду (6) на 1 шаг (на 2015 год) дает оценку вылова рыбы равную 72100 т/год, а по уравнению (8) – 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 78670 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.

### 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 промыслового значения. 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 8 параметров биопродуктивности вод Южно-Китайского моря за период 1990-2009 гг., которые тесно связаны друг с другом, ибо 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 он-лайн 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 %.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в журналах и периодических изданиях, включенных в перечень ВАК РФ*

1. 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 // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Рыбное хозяйство. 2014. №2. С. 13-20.

2. Нгуен Данг Киен, Бухарицин П.И. Биологические особенности и условия обитания некоторых видов тунца /Нгуен Данг Киен, П.И. Бухарицин // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Рыбное хозяйство. 2015. № 1. С. 134 – 140.

3. 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 //Ученые записки РГГМУ, 2016. № 42. С.64-73.

4. 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 //Ученые записки РГГМУ, 2016. № 42. С. 74-80.

*Публикации в других научных изданиях*

5. Нгуен Данг Киен. Оценка современного состояния мировых запасов тунца по материалам литературных источников / Нгуен Данг Киен // Вестник Астраханского государственного университета. Естественные науки. 2013. № 4 (45). С. 56–64.

6. Nguyen Dang Kien. Current state of world reserves of the tuna/ Nguyen Dang Kien// International Conference on European Science and Technology. April 10th-11th. Munich, Germany (Германия). 2013.Vol 1. P. 61-64.

7. Нгуен Данг Киен. Исследование влияния условий окружающей среды на результаты оценки и прогноз запасов пелагических рыб (на примере тунца)/ Нгуен Данг Киен//Геозэкология: тезисы докладов Международной научной конференции профессорско-преподавательского состава Астрахан. гос. техн. ун-та (58 НПП).– Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014. – Режим доступа: <http://astu.org/Pages/Show/839>.