

МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ

На правах рукописи

ЕФИМОВ Юрий Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЫБНОГО
ПРОМЫСЛА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ РЫБОЛОВСТВА
/На примере промысла тихоокеанского хека
Банкуверо-Орегонского района/

(Специальность № 05.18.17 - промышленное
рыболовство)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Москва, 1981

Работа выполнена в лабораториях оптимального вылова
и рыбных ресурсов океанических и шельфовых вод Всесоюзного
научно-исследовательского института морского рыбного хозяй-
ства и океанографии /ВНИРО/, г.Москва.

Научные руководители:

кандидат технических наук ЗАСОСОВ А.Н.

доктор технических наук, профессор АНДРЕЕВ Н.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук ИДОВИЧ В.Б.

доктор биологических наук ФЕДОРОВ С.С.

Ведущее предприятие:

Всесоюзное рыбопромышленное объединение дальне-
восточного бассейна / ВРПО Дальрыба /

Защита состоится "24" 2.04 марта 1981 года на засе-
дании Специализированного Совета Д 117.01.01 по защите
диссертаций на соискание ученых степеней по специальности
Д 05.18.17 - промышленное рыболовство при Всесоюзном
научно-исследовательском институте морского рыбного хозяй-
ства и океанографии / ВНИРО /.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке инсти-
тута / г.Москва, Верхняя Красносельская ул., 17-а /.

Автореферат разослан "19" февраля 1981 года.

Ученый секретарь Специализированного
Совета

К.Т.Н. ГОЛОВИЧЕВ И.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В условиях сокращения численности многих традиционных объектов промысла и введения большинством прибрежных государств 200-мильных экономических зон особое значение при регулировании рыбного промысла приобретает разработка и использование математических методов оценки величины запаса и допустимого улова объектов рыболовства, являющихся в настоящее время основным инструментом обоснования квот вылова.

Цели и задачи исследования. Цель работы: /1/ исследование существующих математических моделей и методов, применяемых при изучении популяций рыб, модификация их и разработка новых методов с учетом специфики исследуемого объекта промысла и возможности полного использования биологической, промысловой и экономической информации и /2/ регулирование промысла основного объекта рыболовства Ванкуверо-Орегонского района Тихого океана и приведение его к оптимальному уровню.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- на основе промысловой информации по рыболовству в Ванкуверо-Орегонском районе выявить преобладающий и наиболее значимый для рыболовства СССР объект промысла;
- рассмотреть наиболее широко применяемые в практике рыбохозяйственных исследований математические модели и выбрать подходящие для практического использования;
- модифицировать математические модели с учетом особенностей вида и промысла исследуемого объекта;
- определить численные значения параметров используемых математических моделей и найти величину запаса, возможного улова и оптимального промыслового усилия. Исследовать влияние изменения интенсивности промысла и селективных свойств орудий лова на величину запаса и возможного улова.

1. Связь экономики с теор. рыболов.
2. Приведение теор. зависи. до макс.

Важно - учитывать особенности промысла

— рассмотреть экономические показатели промысла исследуемого объекта рыболовства. Построить математическую модель зависимости прибыли от промысловых затрат;

— найти оптимальный режим эксплуатации изучаемого вида рыбы как по критерию максимального возможного улова $1/ MSY$, так и по критерию максимальной экономической прибыли MEY ;

— исследовать возможные изменения и величины запаса и возможного улова при переходе промысла к оптимальному режиму.

Научная новизна работы:

— проведен анализ существующих математических моделей и методов с целью пригодности их для исследования промысла тихоокеанского хека;

— изучены биологические характеристики популяции тихоокеанского хека, впервые получено уточненное уравнение роста и зависимости коэффициента естественной смертности от возраста. На этой основе построена математическая модель для оценки величины возможного улова хека согласно критерию MSY ;

— исследованы результаты промысла хека, что позволило впервые построить кривую возможного улова хека на основе более точной аппроксимации соотношения между уловом на единицу усилия и промысловым усилием;

— построена математическая модель зависимости экономической прибыли от величины промысловых затрат. Впервые рассмотрены экономические показатели промысла хека и определен оптимальный режим промысла в соответствии с критерием MEY ;

— оценена величина запаса хека, пополнения, смертности, допустимого улова и оптимального промыслового усилия;

— проанализированы возможные изменения в состоянии популяции хека при переходе ее к новому стабильному состоянию в результате изменения интенсивности промысла до оптимального уровня.

1/ Используются также понятия "максимальный уравновешенный улов", и "максимальный устойчивый улов". По нашему мнению все они равнозначны и определяют максимальную величину улова, которая находится по одной из кривых возможного улова.

Практическая ценность и реализация работы состоит в том, что:

- полученные результаты позволяют организовать промысел тихоокеанского хека на более рациональной основе, исключая возможность снижения численности под воздействием промысла и обеспечивающей максимум прибыли от промысла;
 - теоретические разработки модифицированного уравнения возможного улова / по критерию MSY / и биэкономической модели промысла / по критерию MEU / в значительной степени универсальны и могут быть использованы при исследовании состояния запаса и промысла других видов рыб;
 - результаты исследований представлялись на международные совещания ученых СССР - США по рыболовству в северо-восточной части Тихого океана и использовались для защиты интересов отечественного рыболовства в этом районе при обосновании величины общего допустимого улова;
 - по материалам диссертации опубликованы "Методические рекомендации по принципам регулирования промысла и методам оценки параметров рыбных популяций", в которых приводятся наиболее апробированные и широко применяемые в практике исследований модели и методы, а также требования, предъявляемые к научным материалам, подготавливаемым для международных рыбохозяйственных организаций.
- Апробация диссертации. Материалы диссертации докладывались и обсуждались: на конференции молодых ученых ПИНРО /г.Мурманск, 1974 г./; на симпозиуме "Организация и результаты исследований запасов промысловых рыб и беспозвоночных с применением математических моделей" /г.Калининград, 1974 г./; на совещании-семинаре "применение количественных методов для оценки промыслового запаса и возможного улова"/г.Батуми, 1976 г./; на всесоюзной конференции молодых ученых "Научно-технический прогресс в рыбной промышленности" /г.Калининград, 1976 г./; на всесоюзной конференции молодых ученых и специа-

листов "Научно-технический прогресс и проблемы рыбного хозяйства" / г.Москва, 1978 г./ ; на международных совещаниях ученых СССР-США по вопросам рыболовства в северо-восточной части Тихого океана / г.Батуми, 1974 г., г.Сиэтл, США, 1977, 1978, 1979, 1980 гг./ и на объединенном коллоквиуме лабораторий промышленного рыболовства, рыбных ресурсов океанических и шельфовых вод, запасов промысловых рыб и прогнозирования уловов и отдела автоматизированная система "Сырьевая база" во ВНИРО /г.Москва, 1979 г./.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 12 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков и 20 таблиц. Список литературы включает 179 наименований, из них 94 на иностранных языках.

Содержание работы

Первая глава. Производится анализ данных по советскому промыслу в Ванкуверо-Орегонском районе и выбор объекта исследования, приводятся данные по биологии и распределению тихоокеанского хека, а также данные по промысловым и экономическим показателям промысла хека.

Статистика уловов, приведенная в сборниках "Статистические сведения по рыбной промышленности СССР" и сборниках FAO "Yearbook of fishery statistics" показывает, что, начиная с момента возникновения широкомасштабного промысла в 1966 г., основу уловов составляет тихоокеанский хек, вылов которого равен в последние десять лет более 98% от общего вылова всех видов рыб. Остальные виды, такие как угольная, камбалы, палтусы, сельдь добываются лишь в качестве прилова при лове хека и промышленного значения для СССР не имеют.

На основании этого в качестве основного объекта исследования в Ванкуверо-Орегонском районе был выбран тихоокеанский хек.

На основе анализа литературы изучено распределение мерлуз рода *Merluccius* в Мировом океане. / Сабо, 1965; Саускам, 1966, 1969; Nelson & Larkins, 1970 и др./. Установлено, что тихоокеанский хек составляет значительную долю советского вылова. Так, по данным за 1977 г., тихоокеанский хек составил 54,3% от общего вылова СССР в северо-восточной части Тихого океана и 22,0% от общего вылова СССР мерлуз в Мировом океане.

Приводятся данные по биологии и распределению тихоокеанского хека в Ванкуверо-Орегонском районе, сезонным и суточным миграциям, питанию, размерному и возрастному составу. Материал для подобного обобщения взят из исследований советских и американских ученых / Ермаков, 1970; Ермаков и Степаненко, 1970; Ермаков, 1971; Nelson & Larkins, 1970; Grinols & Tillman, 1970, Best, 1963; Smith, 1969; Alton & Nelson, 1970 и др./.

В последние годы при изучении сырьевой базы рыбной промышленности большое внимание уделяется экономическим оценкам. Одним из простейших способов определения экономической целесообразности ведения промысла при разных уровнях его интенсивности является исследование соотношения величины возможного улова /выраженной в стоимостных единицах / и затратами на единицу промыслового усилия.

В нашем случае для преобразования теоретических кривых возможного улова в единицы стоимости в качестве экономического показателя промысла хека была использована средняя стоимость выпуска 1 центнера хека на судах типа БМРТ, равная 66 руб.36 коп. и стоимость 1 центнера рыбной муки, равная 55 руб.00 коп.

При определении величины затрат на единицу промыслового усилия использовалась таблица затрат на эксплуатационное содержание добывающих судов типа БМРТ Дальрыб в северо-восточной части Тихого океана, Британской Колумбии и Орегона.

С точки зрения исследования динамики промысла, необходимо выделить те категории затрат, которые непосредственно зависят

1 руб. 00 коп. за 1 ц муки
 66 руб. 36 коп. за 1 ц хека

от величины улова и затраченного промышленного усилия.

Обозначим буквой B_0 постоянные затраты, $B_1 f$ — затраты, зависящие от величины промышленного усилия, а затраты, пропорциональные величине улова, через $B_2 Y$. Тогда суммарные затраты на промысле будут:

$$B = B_0 + B_1 f + B_2 Y \quad /1/$$

Определение величины затрат, пропорциональных величине улова, представляет собой чрезвычайно сложную задачу, поскольку в явном виде они не могут быть выделены. Если учесть, что величина улова косвенно связана с затраченным промышленным усилием, то в первом приближении можно предположить, что затраты $B_2 Y$ входят в затраты $B_1 f$. Тогда формулу /1/ можно привести к более простой, линейной форме:

$$B = B_0 + B_1 f \quad /2/$$

Величина затрат, определяемая нормативными таблицами на содержание добывающих судов, соответствует затратам на сутки промысла одного судна. Чтобы получить реальную величину затрат, необходимо скорректировать постоянные затраты с учетом нормативного времени пребывания судна на промысле /105 суток/ и обе категории затрат — с учетом количества судов, ведущих промысел. Тогда уравнение /2/ перепишем как:

$$B = (B_0 + B_1 f) N \quad \text{или} \quad B = B_0 N + B_1 f N$$

где: N — число судов на промысле.

Величина $fN = f_0$ — общая величина затраченного промышленного усилия в течение сезона промысла, откуда:

$$B = B_0 N + B_1 f_0 \quad /3/$$

После суммирования всех постоянных и переменных затрат и пересчета их на рыболовное усилие в часах траления, получаем расчетный вид уравнения /3/:

$$B = 432,1N + 0,29f_0 \quad /4/$$

Среднесписочное число судов в год в районе промысла тихоокеанского хека составляет $N = 30$. Эта величина использовалась в дальнейшем при расчете величины промысла при разных уровнях

эксплуатации.

Вторая глава. Рассмотрены общие принципы построения математических моделей, дается критический анализ моделей и выбор их для практических расчетов, производится оценка величины запаса хека, стандартизация промыслового усилия, определение параметров используемых математических моделей, модификация уравнений возможного улова с учетом специфики промысловых и биологических характеристик хека.

В работе вводится формальная классификация математических моделей по типу используемой исходной информации. Это классификация условна и не подменяет существующих, но позволяет легко определить возможный для использования класс моделей на основе исходных данных. В соответствии с этой классификацией математические модели считаются биологическими, если в них используются данные по результатам научно-исследовательских съемок / размерный и возрастной состав и т.д. /. Модели, использующие информацию по статистике промысла считаются биопромысловыми, а модели, в которых учитываются экономические показатели промысла — био-экономическими.

Данные по биологии тихоокеанского хека показывают, что для анализа промысла может быть применена модель Бивертон-Холта в модификации К. Катти / Katty, 1968 /:

$$Y_E/R = F \cdot W_{\infty} e^{-M t} \sum_{n=0}^{d-1} (-1)^n \frac{\Omega_n e^{-nK(t-t_0)}}{F+M+nK} \left[1 - e^{-(F+M+nK)\lambda} \right] / 5/$$

К этому же типу математических моделей / биологическому, согласно нашей классификации / относится и модифицированное уравнение возможного улова / которое будет описано ниже /.

Ко второй категории моделей, биопромысловым, относятся модели, основанные на концепции уравновешенного улова и рассматривающие соотношение между уловом на единицу усилия U_2 и промысловым усилием f / Schaefer, 1954; Gulland, 1961; Pella & Tomlinson, 1969; Fox, 1970; Ефимов и Локшина, 1977 /.

Обычно рассматривается два возможных случая зависимости

между U_f и f : линейный /модель Шефера/ и экспоненциальный /модель Галланда-Фока/.

Обработка эмпирических данных по U_f и f обычными статистическими методами позволяет получить оценки параметров зависимости $U_f(f)$, по которым вычисляется максимальный возможный улов / U_{Emax} /, оптимальное промысловое усилие / f_{opt} /, улов на усилие на уровне MSY / $U_{f_{opt}}$ /. Если известно также значение коэффициента улавливаемости q , то можно подсчитать величину запаса, необходимого для продуцирования MSY / P_{opt} /, мгновенный коэффициент промысловой смертности, соответствующий f_{opt} / F_{opt} /, интенсивность вылова / σ / / Локшина, 1978; Бѣимов, 1980/.

По данным промысловой статистики были получены расчетные выражения зависимости $U_f(f)$ / Рис.1 /:

линейная зависимость $U_f = 3,57 - 0,0129f_0$
 экспоненциальная зависимость $U_f = 4,44 \cdot e^{-0,0075f_0}$

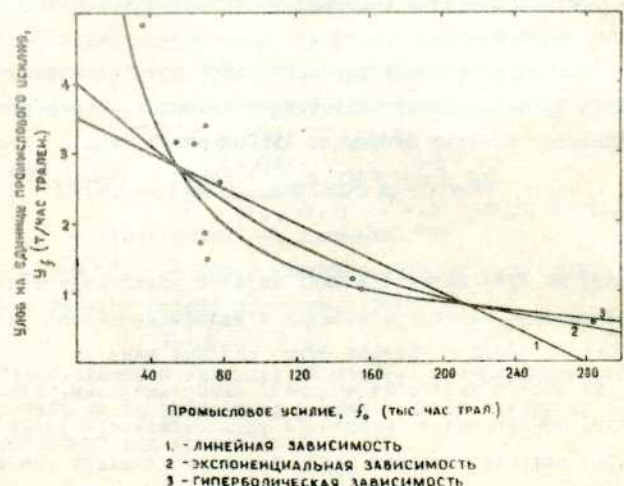


Рис.1. Сопоставление различных видов зависимостей величины улова тихоокеанского хека на единицу промыслового усилия от усилия

Положение линий 1 и 2 показывает, что они весьма условно описывают эти данные.

Фактическим значениям наиболее соответствует гиперболическая зависимость типа / Ефимов, 1978/:

$$y_f = \frac{1}{a + bf} \quad /6/$$

Расчетное выражение для y_f будет иметь вид:

$$y_f = \frac{1}{0.038 + 0.0057f_0}$$

Эта зависимость показана на Рис.1 / кривая 3 /.

Статистическая оценка соответствия полученных графиков показывает, что гиперболическая зависимость наиболее точно соответствует опытным данным.

С учетом полученных выражений $y_f(f)$ и известного соотношения $Y_E = y_f \cdot f$, величина возможного улова для всех трех моделей данного типа определится уравнениями:

линейная зависимость $Y_E = 3.57f_0 - 0.0129f_0^2 \quad /7/$

экспоненциальная зависимость $Y_E = 4.44f_0 \cdot e^{-0.0075f_0} \quad /8/$

гиперболическая зависимость $Y_E = \frac{f_0}{0.038 + 0.0057f_0} \quad /9/$

Данные по экономике промысла, приведенные в главе 1, позволяют использовать для оценки оптимального режима промысла хека биоэкономический тип моделей, согласно критерию МКУ.

Это направление нашло свое отражение во многих работах зарубежных авторов /Gordon, 1953; Schaefer, 1957; Beverton & Holt, 1957; Clark et al., 1973 и др./, однако во всех упомянутых работах рассматривается лишь теоретическая сторона без решения прикладных задач.

Суть этого подхода состоит в выявлении зависимости между величиной возможного улова и промышленным усилием и оптимизации этой зависимости с точки зрения получения максимальной экономической прибыли МКУ.

Общую прибыль от промысла можно представить как:

$$P' = [n(1-k)Y + mkY]$$

Где: n — стоимость единицы выпускаемой рыбной продукции
 m — стоимость единицы рыбной муки
 k — доля общего улова, идущая на производство муки
 Y — величина общего улова

Величина затрат определяется по уравнению /3/, а величина чистой прибыли тогда будет:

$$P = [n(1-k)Y + mkY] - [B_0N - B_1(f)] \quad /10/$$

В общем виде можно записать систему из трех уравнений, представляющую собой биоэкономическую модель, учитывающую биологические, промышленные и экономические факторы промысла:

$$\begin{aligned} Y &= Y_E(f) \\ B &= B_0N + B_1(f) \\ P &= [n(1-k)Y + mkY] - [B_0N - B_1(f)] \end{aligned} \quad /11/$$

Расчетное уравнение для оценки величины чистой прибыли от промысла тихоокеанского хека с учетом уравнения /4/ будет иметь вид /Ефимов, 1980/:

$$P = 0,64 Y - 12963 - 0,29 f_0 \quad /12/$$

Таким образом, в качестве конкретных расчетных моделей выбраны модель Бивертон-Холта, линейная аппроксимация промысловой статистики / модель Шефера/, экспоненциальная аппроксимация /модель Галланда-Фокса/, гиперболическая аппроксимация, модификация уравнения возможного улова с учетом уточнения уравнения роста, входящего в эту модель, и возрастного распределения естественной смертности /см. ниже/, а также биоэкономическая модель промысла.

Рассмотрены методы оценки величины запаса рыб. Критический анализ методов относительной и абсолютной численности показал, что наилучшим методом для определения величины общего и промыслового запаса хека является метод VPA, дающий гарантированную минимальную оценку величины запаса. Расчеты производились по модификациям этого метода Д.Галланда /Gulland, 1965 / и Д.Поупа /Pope, 1972 / при значении коэффициента естественной смертности $M=0,45$. Основой этих методов являются

уравнения изменения численности с возрастом и уравнение возможного улова, выведенные Ф.И. Барановым.

Величина общего запаса хека для возрастных групп с 3-х до 13-ти лет оказалась равной $P = 1,7$ млн. т, что вполне сопоставимо с оценками, полученными советскими и американскими учеными на основе гидроакустических съемок и съемок по учету икры и личинок.

Распределение коэффициентов промысловой смертности по возрастам, получаемое методом VPA и определяющее доступность каждого возраста промыслу, позволило оценить величину промыслового запаса хека: $P' = 367,4$ тыс. т. Причем промысловый запас составляет всего 22% от общего запаса /Ефимов, 1976 /.

За величину пополнения общего запаса хека принималась средняя численность самой младшей возрастной группы / 3 года /, встречающейся в уловах $\bar{R} = 1844,26 \times 10^6$ шт./.

Рассмотрено много способов стандартизации промыслового усилия /Бивертон и Холт, 1969; Засосов, 1976; Локшина, 1978; Ефимов и Колотовкин, 1975; Shimada & Schaefer, 1956; Cardoso, 1973 и др./, однако большинство из них основано на использовании данных о деятельности каждого промыслового судна в течение промыслового сезона. В нашем распоряжении были лишь данные по общему вылову хека и улову на усилие судов СССР / по данным ТИНРО/. Данные по промысловым судам иностранного флота отсутствовали. Однако деятельность иностранного флота была учтена при стандартизации усилия через величину улова. Принимая суда типа БМРТ за стандартные, величина общего усилия рассчитывалась по общему вылову хека и улову на усилие стандартных судов по формуле Д. Галланда /Gulland, 1969/.

Для практических расчетов произведена оценка параметров выбранных математических моделей. К этим параметрам относятся значения коэффициентов соотношения "масса-длина", уравнения роста Берталанфи, коэффициентов общей и естественной смертности, возраста вступления в промысел и предельного возраста, коэффициента улавливаемости.

Получены оценки коэффициентов соотношения "масса-длина"
/Ефимов, 1973, 1976/:

$$w = 0,0288 \cdot L^{2,61}$$

Рассмотрены различные методы определения коэффициентов уравнения Берталанфи /Ефимов и Игошин, 1976 / и приведены результирующие формулы для расчета длины хека с возрастом:

$$l_t = 77,9 \left[1 - e^{-0,147(t+0,26)} \right] \quad /13/$$

и массы хека с возрастом:

$$w_t = 2507,9 \left[1 - e^{-0,147(t+0,26)} \right]^{2,61} \quad /14/$$

Эти оценки близки к результатам, полученным американскими учеными /Dark, 1975/.

Отсутствие четкого биологического обоснования коэффициентов соотношения "масса-длина" вызывает критику со стороны многих ученых. Так в одной из работ В.А.Ионаса и В.В.Блинова /Ионас и Блинов, 1977 / предлагается проводить обобщение кривых роста на основе теории подобия и размерности. В их интерпретации зависимость массы от длины рыб имеет вид:

$$w = \mu \cdot l^3$$

где: μ определяется как функция безразмерного относительного возраста $\mu = \mu(\tau)$ и является коэффициентом формы рыб. В свою очередь τ является отношением текущего возраста t к возрасту половозрелости t_n .

Исследуя кривые роста разных видов рыб, авторы этой работы пришли к выводу о существовании единой для всех видов рыб зависимости:

$$\lambda = 1,52 \left[1 - e^{-\tau} \right] \quad /15/$$

Нами была предпринята попытка использования подобного подхода к анализу кривых распределения длины хека и окуня /Блинов и Ефимов, 1978 /. Однако расчеты показали, что наши данные существенно отличаются от зависимости /15/ и универсальность ее вызывает определенное сомнение. Далее были вычислены эмпирические зависимости $\mu = \mu(\tau)$ для каждого вида в отдельности, которые в простейшем случае могут быть аппроксимированы

экспоненциальной функцией $M(t) = a + be^{-t}$:

для хека $M = (5,0 + 4,6 \cdot e^{-t}) \cdot 10^{-3}$ /16/

для окуня $M = (13,2 + 6,0 \cdot e^{-t}) \cdot 10^{-3}$ /17/

В сочетании с уравнением Берталяни, описывающим линейный рост хека и окуня, эти зависимости дали наиболее точное с точки зрения статистических критериев выражения для модифицированного уравнения весового роста хека и окуня:

$$W_t = [(5,0 + 4,6 \cdot e^{-t}) \cdot 10^{-3}] \left\{ 17,9 [1 - e^{-0,147(t+0,26)}] \right\}^3 \quad /18/$$

$$W_t = [(13,2 + 6,0 \cdot e^{-t}) \cdot 10^{-3}] \left\{ 46,1 [1 - e^{-0,146(t+1,16)}] \right\}^3 \quad /19/$$

Уравнение /18/ было использовано при выводе модифицированного уравнения возможного улова хека.

Оценка мгновенных коэффициентов общей и естественной смертности производилась несколькими способами для получения независимых результатов.

Возрастной состав уловов хека / по данным ТИПРО/ позволяет оценить значение коэффициента общей смертности $\bar{Z}$ для возрастных групп, полностью вступивших в промысел / 7-13 лет/. Полученные оценки практически совпали и в дальнейших расчетах использовалось среднее значение: $\bar{Z} = 1,00$.

Оценка коэффициента естественной смертности оказалась равной $M = 0,45$.

Использование в математических моделях фиксированного значения коэффициента M является одним из слабых мест и служит поводом для критики со стороны биологов. Выявление зависимости $M(t)$ могло бы помочь получить более близкие к действительности результаты.

В нашей работе предпринята попытка получения кривой возрастного распределения естественной смертности хека на основе данных по траловым съемкам в 1965 г. до начала крупномасштабного промысла /Кутяков, 1970/. По этим данным были определены

значения коэффициента для всех возрастов и районов обитания хека. По этим значениям построена кривая смертности /Рис.2 /.

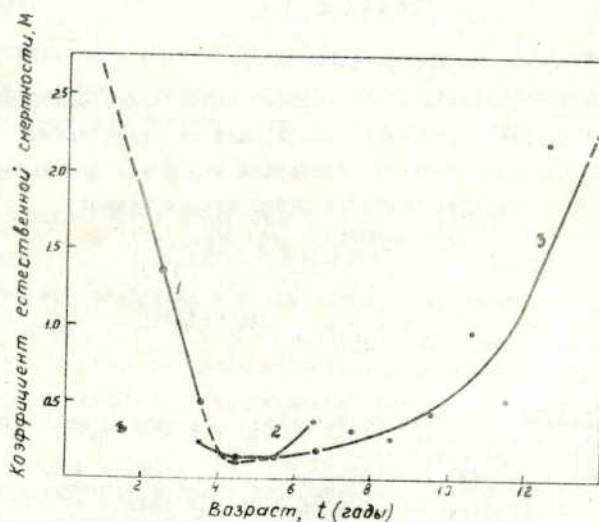


Рис.2. Зависимость коэффициента естественной смертности тихоокеанского хека от возраста.
1 - Мексиканский район. 2 - Вашингтоно-Орегонский район. 3 - Ванкуверский район. ✕ - точка не учитывалась. --- экстраполяция

Правая часть этой кривой относится к промысловой части запаса, поэтому для практических целей можно ограничиться рассмотрением только этой части кривой.

Наиболее простой аппроксимирующей функцией для описания правой ветви зависимости $M(t)$ является квадратичная парабола:

$$M(t) = A_1 t^2 + B_1 t + x_1$$

Другая аппроксимирующая функция имеет вид:

$$M(t) = A_2 + B_2 t^{x_2}$$

Статистическая оценка на основе вычисления стандартного отклонения показала, что вторая аппроксимирующая функция имеет несколько более высокую точность, поэтому она была использована при модификации уравнения возможного улова.

Расчетная форма принятой зависимости $M(t)$ имеет вид:

$$M = 1,32 \cdot 10^{-5} \cdot t^{4,49} + 0,12 \quad /20/$$

Возраст вступления хека в промысел вычислялся на основе данных по распределению коэффициента промысловой смертности хека с возрастом, полученное методом VPA и по данным среднего возрастного состава уловов путем вычисления доли вклада каждой из младших возрастных групп относительно возрастной группы, полностью представленной в уловах /7 лет/. В первом случае оценка оказалась равной: $t_c = 6,2$ года, во втором - $t_c = 5,7$ года. Для расчетов принималось среднее значение: $\bar{t}_c = 6,0$ лет.

Анализ возрастного состава уловов хека показал, что рыбы в возрасте 15 лет встречались редко. Именно этот возраст был принят в качестве предельного: $t_A = 15$ лет.

Оценка величины коэффициента улавливаемости q была произведена двумя методами на основе известного соотношения между коэффициентом промысловой смертности и промысловым усилием:

$$F = q \cdot f \quad . \text{ В расчетах использовалось среднее значение: } \bar{q} = 4,84 \cdot 10^{-6}.$$

Уточнение уравнения возможного улова производилось на основе выведенной выше зависимости $w(t)$, которая в общем виде может быть записана как:

$$w(t) = (C + D \cdot e^{-\alpha t}) [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3 \cdot L_\infty^3 \quad /21/$$

где: C и D - положительные константы, а $\alpha = 1/t_n$.

/для хека $C = 5 \cdot 10^{-3}$; $D = 4 \cdot 10^{-3}$; $\alpha = 0,25$ / и эмпирической зависимости $M(t)$:

$$M(t) = A + B t^\alpha \quad /22/$$

/для хека $A = 0,12$; $B = 1,32 \cdot 10^{-5}$; $\alpha = 4,49$ /.

Согласно этим зависимостям было разработано/совместно с Т.И.Булгаковой / модифицированное уравнение возможного улова тихоокеанского хека.

Взяв за основу уравнение изменения численности Ф.И.Баранова

в виде:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -[F + M(t)] \cdot N(t)$$

подставим в него $M(t)$ из /22/; решение имеет вид:

$$N(t) = C_1 \cdot e^{-(F+A)t - \frac{B}{x+1} t^{x+1}} \quad /23/$$

где константа

$$C_1 = R \cdot e^{(F+A)t_c - \frac{B}{x+1} t_c^{x+1}}$$

Поскольку

$$\frac{dY_E}{dt} = N(t) \cdot w(t) \cdot F,$$

то, подставляя /21/ в /23/, получим после интегрирования по t от t_c до t_λ , что возможный годовой улов равен:

$$Y_E = C_2 \cdot C \sum_{n=0}^3 \omega_n \int_{t_c}^{t_\lambda} e^{-(F+M+nk)t - \frac{B}{x+1} t^{x+1}} dt + \quad /24/$$

$$+ C_2 \cdot 2 \sum_{n=0}^3 \omega_n \int_{t_c}^{t_\lambda} e^{-(F+M+nk)t - \frac{B}{x+1} t^{x+1}} dt$$

$$\text{Где: } C_2 = F \cdot C_1 \cdot L_\infty^3; \quad \omega_n = \Omega_n \cdot e^{nkt_0}$$

Для расчета величины Y_E по формуле /24/ нами составлена специальная программа на языке ФОРТРАН для ЭВМ "Минск-32". Программа предусматривает возможность использования различных видов уравнения роста и две формы зависимости $M(t)$. Это делает возможным использование уравнения улова /24/ при исследовании других видов рыб.

Глава III. В предыдущей главе отмечалось, что для определения оптимального режима промысла хека было решено использовать модели трех типов: биологические, биопромышленные и биоэкономические.

К моделям первого типа относится модель Бивертон-Холта и модифицированное уравнение возможного улова.

Расчеты по модели Бивертон-Холта /5/ позволили получить кривую возможного улова на единицу пополнения, которая затем была пересчитана в абсолютные единицы массы в соответствии с вычисленной ранее средней величиной пополнения $\bar{R} = 1844, 26 \cdot 10^6$ шт./.

Кривая возможного улова приведена на Рис.3 /кривая 4/.

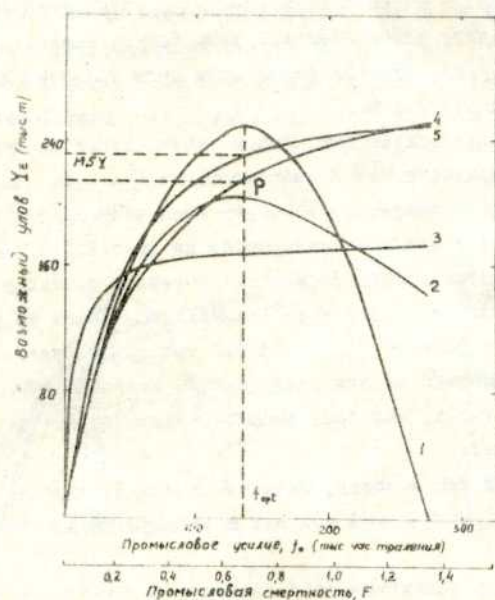


Рис.3. Кривые возможного улова тихоокеанского хека.
 1 — линейная зависимость 2 — экспоненциальная зави-
 симость 3 — гиперболическая зависимость 4 — кривая
 Бивертон-Холта 5 — модифицированная кривая
 возможного улова

Помимо этой кривой были получены кривые изменения таких важных показателей популяции / в зависимости от коэффициента промысловой смертности и возраста вступления в промысел/, как величина биомассы промыслового запаса, среднего возраста, средней массы и длины, а также изоплетная диаграмма возможного улова как функция $Y_e/R(F; t_c)$.

Кривая 5 на Рис.3 получена в соответствии с модифицированным уравнением возможного улова / 24/. В обоих случаях для перехода от мгновенных единиц смертности F к единицам промыслового усилия f использовалась формула $F = q \cdot f$, где $q = 4,84 \cdot 10^{-6}$, что дает возможность объединения результатов оценки величины улова, полученных по моделям разных типов, на

одном рисунке.

К моделям второго типа относятся выведенные ранее уравнения возможного улова согласно трем формам зависимости / уравнения /7/, /8/, /9/. На Рис.3 этим трем уравнениям соответствуют кривые 1, 2 и 3.

Согласно полученным кривым, оптимальное значение промысла хека /по критерию MSY / соответствует $F_{opt} = 0,66$, что на 20% выше существующего значения $F = 0,55$ /. В этом случае величина максимального возможного улова будет не ниже 210,0 тыс.т, а уровень среднего оптимального промыслового усилия составит $f_{opt} = 135,9$ тыс.час.тралений. Величина оптимального запаса на уровне MSY должна быть равна: $P_{opt} = 318,0$ тыс.т. Эта величина ниже значения промыслового запаса, полученного методом ВРА : $P' = 367,4$ тыс.т, что дает дополнительную гарантию стабильности его состояния.

Третий тип моделей, биоэкономический, позволяет получить максимум экономической прибыли и оптимум промысла согласно критерию MEY .

Введя в уравнение /11/ обозначения: $(n - nk + nm) = A$ и $B_0 N = B_1$, получим:

$$P = AY - B_1' - B_2(f) \quad /25/$$

Функция $Y = Y_E(f)$ в нашем случае может быть представлена пятью различными формами в соответствии с уравнениями /5/, /7/, /8/, /9/, /24/.

Максимум прибыли может быть определен для любого вида зависимости $Y_E(f)$ либо аналитическим, либо графическим путем. В работе даются примеры оценки P_{max} аналитическим путем для простой функции $Y_E(f)$ /модель Шефера/ и для более сложной /модель Галланда-Фокса/. В последнем случае поиск максимума функции приводит к трансцендентному уравнению, решение которого может быть получено лишь приближенным графическим способом.

Более простым способом для всех пяти функций является графическая оценка. Уравнение прибыли /25/ может быть представлено в виде двух частей: нелинейной, определяющей величину P' и

по форме зависящей от выбранной функции $Y_E(f)$ и линейной, определяемой общей величиной затрат B .

На Рис. 4 показаны все пять кривых и прямая затрат, построенные в соответствии с формулами /4/, /5/, /7/, /8/, /9/, /24/.

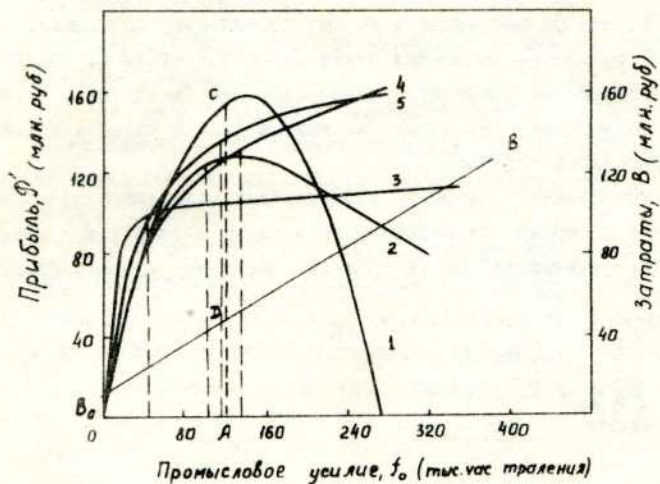


Рис. 4. Определение максимальной величины экономической прибыли и оптимального промышленного усилия графическим методом

1 - линейная зависимость, 2 - экспоненциальная зависимость, 3 - гиперболическая зависимость, 4 - кривая Бивертон-Холта, 5 - модифицированное уравнение возможного улова.

В этом случае максимум прибыли $P_{\max}$ находится по касательной линии, параллельной прямой затрат. Чистая прибыль находится как разность отрезков $AC - DC$.

Величина оптимального промышленного усилия в среднем составляет 132,0 тыс. час. трален., или $F_{\text{opt}} = 0,64$. Улов, дающий максимальную прибыль, будет несколько ниже 210,0 тыс. т.

Таким образом, оценки оптимального режима промысла хека,

полученные на основе двух различных критериев, оказались достаточно близкими друг к другу.

Результаты расчетов показали, что существует реальная возможность увеличения вылова хека без подрыва запаса и что для перехода к оптимальному уровню промысла необходимо увеличить интенсивность промысла с $F = 0,55$ до $F_{opt} = 0,66$. Подобное изменение влечет за собой увеличение улова, падение промыслового запаса и переход популяции к новому стабильному состоянию.

Для выяснения возможных изменений в состоянии популяции хека использовано уравнение Бивертон-Холта /Бивертон и Холт, 1969 / позволяющее подсчитать возможный улов и запас в любой год переходного периода.

В результате оказалось, что величина возможного улова резко возрастет в первый год переходного периода и стабилизируется на величине, превышающей на 7% прежний стабильный уровень /Рис.5/.

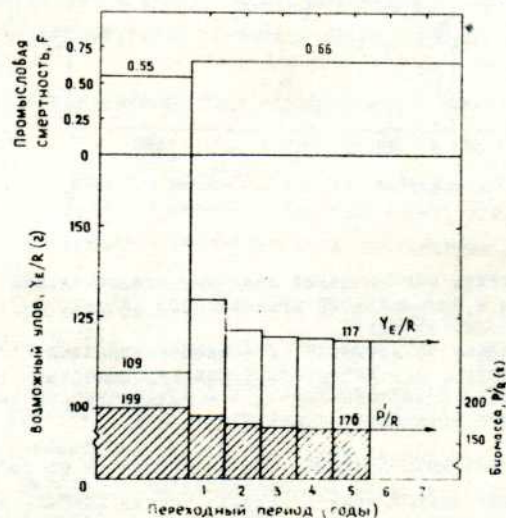


Рис.5. Изменение величины возможного улова и биомассы промыслового запаса тихоокеанского хека при переходе к новому уровню интенсивности промысла.

В абсолютном исчислении величина возможного улова будет равна

216,0 тыс.т. промышленный запас снизится примерно на 12% и будет равняться 325,0 тыс.т. Переходный период к новому стабильному состоянию популяции будет продолжаться 5 лет. Величина запаса нового стабильного состояния популяции выше значения запаса, обеспечивающего MSY, следовательно, предлагаемое изменение интенсивности промысла не скажется отрицательно на состоянии запаса хека.

Заключение. По результатам работы можно сделать следующие основные выводы:

1. Проанализирована имеющаяся биологическая, промысловая и экономическая статистика промысла хека и показана возможность ее использования для регулирования промысла хека с точки зрения разных критериев.

2. Рассмотрены существующие математические модели популяций рыб. Критический анализ показал, что для исследования популяции хека могут быть использованы модели типа Баранова, Шефера и простейшие случаи биоэкономических моделей.

3. Величина запаса хека, определенная методом VPA, равна: $P = 1,7$ млн.т ; $P' = 367,4$ тыс.т. Величина пополнения равна: $\bar{R} = 1844,26 \cdot 10^6$ шт.

4. Теоретическая разработка модификаций математических моделей проведена на основе более точной аппроксимации промысловой статистики, уточнения функции весового роста хека и возрастного распределения коэффициента естественной смертности.

5. Проведенные расчеты показывают, что для достижения оптимального уровня промысла хека / по критерию MSY / необходимо увеличить интенсивность промысла примерно на 20% с $F = 0,55$ до $F = 0,66$. в этом случае величина MSY будет равна 210,0 тыс.т, а уровень оптимального промыслового усилия - $f_{opt} = 135,9$ тыс. час.тралений.

6. Рассмотрены экономические показатели промысла хека. Построена математическая модель зависимости общей прибыли от величины промысловых затрат. Согласно критерию MEY величина f_{opt} составит 125,0 тыс.час.тралений, что на 8% ниже,

чем определенная по критерию MSY . Величина максимальной прибыли будет соответствовать улову несколько ниже 210,0 тыс.т. Рассчитанная величина чистой и максимальной прибыли может отличаться от реальных значений, поскольку при расчетах использовались не фактические, а нормативные данные по затратам.

7. Сравнение результатов расчетов по модели Бивертона-Холта и модифицированному уравнению возможного улова показывает, что наша модификация дает возможный улов выше на 10% или на 20 тыс.т. Более строгое теоретическое обоснование построения модифицированной модели и избавление ее от одного из основных допущений, касающегося постоянства коэффициента естественной смертности, позволяет предположить, что эта модель точнее отражает реальность. Модель допускает использование ее при изучении других видов рыб.

8. Анализ возможных изменений в состоянии популяции при переходе ее к новому стабильному состоянию показал, что величина улова после 5-летнего переходного периода стабилизируется на уровне в 216,0 тыс.т, а величина запаса / 325,0 тыс.т / будет выше запаса, необходимого для обеспечения MSY . Это позволяет сделать вывод о том, что рекомендуемое изменение интенсивности промысла не скажется отрицательно на состоянии запаса тихоокеанского хека.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Определение влияния промысла на состояние запаса тихоокеанского хека Ванкуверо-Орегонского района. Сб.тр.по промышленному рыболовству, т.2,М, ЦНИИТЭИРХ, 1973, с.5-29.

2. Сравнительная оценка современных методов определения промысловой мощности и усилия / в соавторстве с Б.М.Колотовским / О.И.Сер.2: Промышленное рыболовство, вып.7-8, М,ЦНИИТЭИРХ, 1975, 50 с.

3. О некоторых вопросах избирательности орудий лова по отношению к тихоокеанскому окуню. "Рыбное хозяйство", 1976, № 2, стр.43-46.

4. Оценка параметров уравнения роста Берталакфи с помощью ЭВМ /в соавторстве с Н.М.Игошиным/. "Рыбное хозяйство", 1976, № 11, 33-34 .

5. Оценка величины запаса тихоокеанского хека методом "виртуальной популяции". Всесоюз.конфер.молодых ученых "Научно-технический прогресс в рыбной промышленности", Тез.докл., М, ЦНИИТЭИРХ, 1976, 5-6.

6. Рост и смертность тихоокеанского хека. Всесоюз.конфер. молодых ученых "Научно-технический прогресс в рыбной промышленности". Тез.докл.М, ЦНИИТЭИРХ, 1976, 6-7.

7. Оценка возможного вылова тихоокеанского хека по данным промысла /з соавторстве с И.Е.Локшиной/"Рыбное хозяйство", 1977, № 8, 19-20.

8. Модификация модели Бивертон-Холта с использованием зависимости формы рыбы от ее длины / в соавторстве с В.В.Блиновым/, "Рыбное хозяйство", 1978, № 6, 14-16.

9. Оценка смертности тихоокеанского окуня Ванкувер-Вашингтонского района. Э.И.Рыбохозяйственное использование ресурсов Мирового океана, М, ЦНИИТЭИРХ, вып.8, 1978, 10-15.

10. Построение кривых улова с точной аппроксимацией промысловой статистики. Всесоюз.конфер.молодых ученых "Научно-технический прогресс и проблемы рыбного хозяйства". Тез.докл.М., ЦНИИТЭИРХ, 1978, 48-50.

11. Использование экономических показателей промысла для оценки его оптимального уровня. Э.И.Промышленное рыболовство, М, ЦНИИТЭИРХ, 1980, вып.4, 1-8.

12. Методические рекомендации по принципам регулирования промысла и методам оценки параметров рыбных популяций. М.ОНТИ ВНИРО, 1980, 50с.

