

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н. И. Вавилова»**

# **ПРОМЫСЛОВАЯ ИХТИОЛОГИЯ**

**краткий курс лекций (часть 2)**

**для бакалавров 4 курса**

**Направление подготовки  
111400.62 Водные биоресурсы и аквакультура**

**Профиль подготовки  
Аквакультура**

**Саратов 2013**

**Промысловая ихтиология:** краткий курс лекций для бакалавров 4 курса специальности (направления подготовки) 111400.62 Водные биоресурсы и аквакультура Ч. 2 / Сост.: В.В. Кияшко // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2013. – 69 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Промысловая ихтиология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 111400.62 «Водные биоресурсы и аквакультура». Краткий курс лекций содержит теоретический материал по вопросам контроля и учета рыбных запасов и мер регулирования рыболовства. Направлен на формирование у студентов навыков проведения биоресурсных исследований и использования их результатов в профессиональной деятельности.

## **Введение**

Промысловая ихтиология – одна из важнейших дисциплин профессионального цикла подготовки специалистов в области аквакультуры. Она изучает теоретические и практические аспекты изучения динамики промысловых популяций рыб, способы прогнозирования запаса и меры регулирования промысла.

Краткий курс лекций по дисциплине «Промысловая ихтиология» предназначен для студентов по направлению подготовки 111400.62 «Водные биоресурсы и аквакультура». Он раскрывает основные законы изменений параметров популяции рыб, на которых базируются определение запаса, восполнение стада рыб и прогнозирование обоснованных уловов.

Курс нацелен на формирование ключевых компетенций, необходимых для эффективного решения профессиональных задач и организации профессиональной деятельности.

## Лекция №1

### РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ. ЛИНЕЙНАЯ, ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ, СТЕПЕННАЯ ФУНКЦИЯ

Под ростом понимается изменение (увеличение или уменьшение) суммарной биомассы всех возрастных групп популяции во времени. В свою очередь, биомасса каждой возрастной группы определяется произведением ее численности на среднюю индивидуальную массу особи:

$$B_w = \sum_{t=t_{\min}}^{t=t_{\max}} N_t W_t \quad (1)$$

В результате изучения роста популяции предполагает: 1) знание закона изменения численности возрастных групп; 2) знание закона индивидуального роста; 3) установление возрастной динамики биомассы поколения и 4) изучение закономерностей роста всей популяции. Знание закономерностей роста популяции позволяет подойти к оценке ее продуктивности.

#### *Индивидуальный рост (рост особи)*

Выделяют два показателя, характеризующие рост особи:

- 1) линейный рост  $dL/dt$ , который описывает скорость изменения длины рыбы во времени;
- 2) весовой рост  $dW/dt$ , определяющий изменение массы тела рыбы.

В отличие от скорости роста популяции (биомассы) индивидуальная скорость роста, как правило, не может принимать отрицательных значений (в особенности для линейного).

Между линейным и весовым ростом рыб существует четкая зависимость, которая характеризуется соотношением массы тела особи с ее длиной

$$W = w_0 L^{w_1} \quad (2)$$

Для большинства видов рыб коэффициент  $w_1$ , близок к трем, это позволяет во многих случаях использовать кубическую зависимость массы тела рыбы от ее длины:

$$W = w_0 L^3 \quad (3)$$

При этом незначительная ошибка данного уравнения по сравнению с (2) компенсируется удобством его использования. Кубическая зависимость длина-масса применяется в уравнении Бергаланфи и промысловой модели Бивертон-Холта.

Логарифмируя выражение (2), приходим к линейной зависимости между логарифмом массы и логарифмом длины особи.

$$\ln W = \ln w_0 + w_1 \ln L \quad (4)$$

Эмпирические коэффициенты легко находятся методом наименьших квадратов, и они известны для большинства видов рыб. Таким образом, зная длину, можно всегда определить соответствующую ей массу особи и наоборот. Это имеет важное значение при проведении полевых исследований. Измерение длины рыбы является значительно менее трудоемкой операцией, чем определение массы, поэтому в ряде случаев оказывается более выгодным проводить сбор данных по длине особей (массовые промеры, биологический анализ), а затем, зная параметры уравнения (2), сделать пересчет на массу особей.

В целях математического описания собственно роста особи используется 5 видов функций: 1) линейная, 2) экспоненциальная, 3) степенная, 4) уравнение Форда-Уолфорда и 5) уравнение Бергаланфи.

#### *Линейная функция*

В основе линейной функции лежит допущение о том, что скорость роста равна некоторой константе  $K$ :

$$\frac{dL}{dt} = K_L ;$$

(5)

$$\frac{dW}{dt} = K_w .$$

(6)

Например, за один год, рыба прирастает на величину  $K = 5$  см. В этом случае закон индивидуального роста может быть описан простыми линейными уравнениями

$$L_t = L_0 + K_L t ;$$

$$W_t = W_0 + K_w t ,$$

(7-8)

где  $L_0$  и  $W_0$  — длина и масса особи в нулевом возрасте.

Графически рост будет представлен прямой линией с тангенсом угла наклона, равным  $K$ . На практике данная функция пригодна для линейного роста, но, как правило, неприемлема для описания весового роста.

#### *Экспоненциальная функция*

Экспоненциальный закон роста исходит из предположения о том, что увеличение длины или массы рыбы происходит с некоторой постоянной скоростью  $G$ , например, прирост длины или массы составляет 10% в год:

$$\frac{dL}{dt} = G_L L ;$$

$$\frac{dW}{dt} = G_w W .$$

(9-10)

Интегрируя данные уравнения, получаем значение длины и массы особи в любой момент времени  $t$ :

$$L_t = L_0 e^{G_L t} ;$$

$$W_t = W_0 e^{G_w t} .$$

(11-12)

Функция не имеет предела и поэтому может описывать рост только на коротких промежутках времени. Например, в промысловой модели Рикера коэффициент  $G_w$  описывает скорость роста для каждой возрастной группы (можно описывать рост по месяцам, неделям или даже суткам для молоди).

Удобство данной функции заключается в том, что по форме она сходна с уравнением Баранова, поэтому легко можно описать динамику биомассы поколения по мере его старения. Для описания линейного роста эта функция не используется.

Логарифмирование уравнения позволяет получить линейную зависимость логарифма массы от возраста. На графике в полулогарифмической системе координат уравнение имеет вид прямой линии с тангенсом угла наклона, равного  $G_w$ :

$$\ln W_t = \ln W_0 + G_w t .$$

(13)

В том случае, когда величина  $G_w$  определяется для каждой возрастной группы, она может быть найдена из уравнения:

$$G_w = \ln \frac{W_{t+1}}{W_t} .$$

(14)

#### *Степенная функция*

Степенное уравнение роста (оно называется еще параболическим) предполагает, что в процессе увеличения размеров тела (длины или массы) скорость роста не остается константой, а изменяется:

$$\frac{dL}{dt} = (aL^{b'}) L ,$$

(15)

$$\frac{dW}{dt} = (aW^{b'}) W .$$

(16)

Здесь скорость роста будет равна  $aL^{b'}$  и  $aW^{b'}$  соответственно для линейного и весового роста. Интегрируя уравнения (15)-(16), получаем:

$$L_t = at^b, \quad (17)$$

$$W_t = at^b \quad (18)$$

В зависимости от значения коэффициента  $b$  степенное уравнение роста будет иметь различную графическую форму. Если  $b > 1$ , то кривая роста будет иметь выпуклую форму (скорость роста увеличивается с возрастом), а если  $b < 1$  — вогнутую форму (скорость роста с возрастом уменьшается). Если коэффициент  $b = 1$ , то мы получаем линейную функцию роста. Для рыб, как правило, коэффициент  $b$  оказывается меньше единицы. Коэффициент  $a$  численно равен длине или массе особи в возрасте 1 год.

Логарифмирование степенной функции приводит к линейной зависимости логарифма длины или массы от логарифма возраста.

Логарифмическая форма уравнения используется для определения коэффициентов методом наименьших квадратов:

$$\ln L_t = \ln a + b \ln t,$$

$$\ln W_t = \ln a + b \ln t. \quad (19-20)$$

Степенное уравнение хорошо описывает эмпирические данные по длине. При описании весового роста оно обычно дает большую ошибку.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Индивидуальный рост (рост особи).
- 2) Линейная функция.
- 3) Степенная функция.
- 4) Экспоненциальная функция.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

#### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. - 272 с.
3. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.

## Лекция №2

### РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ. УРАВНЕНИЕ ФОРДА-УОЛФОРДА, УРАВНЕНИЕ БЕРТАЛАНФИ

#### Уравнение Форда-Уолфорда

Уравнение Форда-Уолфорда является специфическим способом описания роста. В отличие от других это уравнение связывает не длину или массу с возрастом, а значение данного показателя в настоящее время с его значением в предшествующий период:

$$L_{x+1,t+1} = a + bL_{x,t}, \quad (21)$$

где:  $L_{x,t}$  — длина возрастной группы  $t$  в году  $x$ ;  $L_{x+1,t+1}$  — длина возрастной группы  $t+1$  в году  $x+1$ ;  $a, b$  — коэффициенты.

В том случае, если изменчивость темпа роста по годам наблюдения отсутствует, допустимо использовать упрощенную форму уравнения (рис. 1):

$$L_{t+1} = a + bL_t. \quad (22)$$

Значения неизвестных коэффициентов  $a$  и  $b$  легко находятся методом наименьших квадратов.

Данное уравнение имеет очень важное значение в трех случаях: 1) с помощью него находятся параметры уравнения Берталанфи, которое рассмотрим дальше;

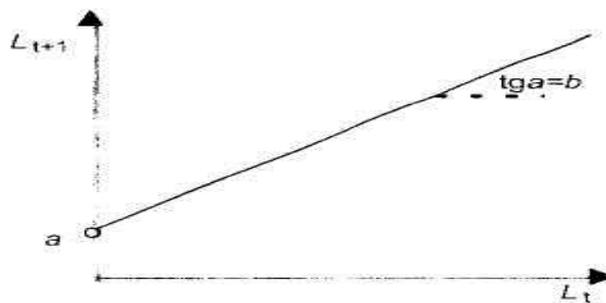


Рис. 1. Уравнение Форда-Уолфорда

2) в форме (21) уравнение может использоваться для составления прогнозов роста с определенной заблаговременностью в зависимости от достигнутых размерных и весовых показателей в текущий период;

3) предприняты попытки использования уравнения Форда-Уолфорда для анализа динамики размерно-возрастных групп. Логика такого подхода заключается в следующем. Одним из важнейших параметров популяции является возрастная структура. Оценка ее состоит из двух этапов: а) в результате массовых промеров промысловых или экспериментальных уловов устанавливается их размерный состав; б) по данным биологического анализа строится размерно-возрастной ключ, и с помощью него размерная структура трансформируется в возрастную. Если первая операция не вызывает затруднений, то второй этап исследований связан с выполнением достаточно трудоемких операций — биологического анализа с взятием регистрирующих структур и определением возраста. Нередко проведение анализа невозможно ввиду потери товарной ценности рыбы. В связи с этим было бы желательно избежать второго этапа. Это оказывается возможным, если оперировать не возрастными, а размерно-возрастными группами.

Действительно, массовые промеры можно разбить на следующие размерные классы с помощью уравнения Форда-Уолфорда

$$L_t \div L_{t+1}; L_{t+1} \div L_{t+2}; L_{t+2} \div L_{t+3} \dots \quad (23)$$

и использовать их в качестве возрастных, оценивая, например, смертность или делая прогноз вылова. Приняв, что темп роста в течение нескольких лет изменяется в довольно небольших пределах, можно, однажды определив параметры уравнения Форда-Уолфорда, использовать их на протяжении некоторого времени.

Имеется вариант процедуры виртуально-популяционного анализа Джоунса (Jones, 1974) применительно к размерным, а не возрастным группам.

#### Уравнение Берталанфи

Уравнение Берталанфи исходит из предположения о том, что скорость роста рыбы замедляется по мере достижения некоторых предельных размеров. Чем ближе фактическая длина рыбы  $L$  к максимальной  $L_\infty$ , тем меньше скорость роста:

$$\frac{dL}{dt} = K(L_\infty - L). \quad (24)$$

Интегрирование данного выражения приводит к функции

$$L = L_\infty - Ce^{-Kt}, \quad (25)$$

которая путем преобразования

$$t_0 = \frac{\ln \frac{C}{L_\infty}}{K} \quad (26)$$

даёт уравнение Берталанфи для линейного роста рыб:

$$L_t = L_\infty \left( 1 - e^{-K(t-t_0)} \right), \quad (27)$$

где:  $L_t$  - длина особи в возрасте  $t$ ;  $K$  - константа роста;  $L_\infty$  - предельная длина;  $t_0$  - начальный возраст.

Согласно этому уравнению рост особи описывается асимптотической кривой, которая пересекает ось  $x$  в точке  $t_0$  и стремится к некоторой величине  $L_\infty$ , (рис. 2). В ихтиологической литературе имеются многочисленные попытки «биологической» интерпретации параметров уравнения Берталанфи. Так,  $L_\infty$  отождествляют с некоторой «теоретической максимальной длиной, которой может достигать рыба»,  $t_0$  обозначают как начальный возраст, т. е. возраст, при котором длина рыбы равна нулю. Полагая, что при выклеве из икры длина особи уже заведомо больше нуля, следует ожидать, что величина  $t_0$  всегда должна быть отрицательна.

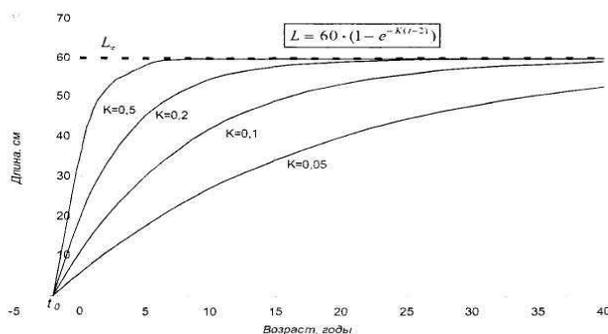


Рис. 2. Семейство кривых линейного роста Берталанфи для различных значений  $K$

Логика таких рассуждений может быть вполне приемлемой и согласующейся с общебиологическими закономерностями роста рыб, однако в реальных исследованиях результаты применения данного уравнения не всего могут адекватно интерпретироваться.

Все три параметра уравнения Бергаланфи  $L_\infty$ ,  $K$ ,  $t_0$  являются не более чем константами, оцениваемыми путем аппроксимации первичных данных. В зависимости от набора первичных данных аппроксимация их уравнением (27) может дать совершенно различные значения коэффициентов вне зависимости от вкладываемого в них «биологического смысла».

Заданы некоторые исходные параметры уравнения Бергаланфи  $L_\infty = 0$  см,  $K = 0,1$ ,  $t_0 = 0,3$ , и по ним рассчитаны значения длин особей в интервале возрастов от 1 до 10 (колонка 2). В следующие колонки внесены некоторые изменения исходных данных, причем только для одной возрастной группы. Так, во втором варианте расчета на 2 см уменьшена длина годовиков, а в третьем варианте — увеличена длина десятигодовиков на 0,7 см (т. е. приблизительно на 1,8%). Понятно, что в реальных исследованиях вариабельность первичных данных может быть значительно большей.

Затем была проведена обратная операция, т. е. по разменным показателям вариантов 1-5 рассчитаны значения параметров уравнения Бергаланфи. Как видно, даже такие небольшие изменения исходных данных существенно влияют на результаты расчетов. Особенно сильное влияние оказывает вариабельность значений крайних возрастных групп. Так, возможная ошибка определения средней длины последней возрастной группы, равная 10% (вариант 5), приводит к тому, что уравнение просто перестает работать — предельная длина оказывается почти в 4 раза больше истинной.

В данном примере очень наглядно проявляется необходимость крайне осторожного подхода к использованию параметров уравнения Бергаланфи для косвенной оценки различных биологических характеристик - предельного возраста жизни рыбы, коэффициента общей смертности (метод Бивертон-Холта), коэффициента естественной смертности (метод П. В. Тюрина) и ряда других.

$$W_t = W_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0)}\right)^3, \quad (28)$$

Предположение о том, что между длиной и массой существует кубическая зависимость, послужило основой использования уравнения Бергаланфи для описания весового роста в виде:

где:  $W_t$ , — длина особи в возрасте  $t$ ;  $K$  — константа роста;  $W_\infty$  — предельная масса рыбы;  $t_0$  — начальный возраст.

На графике данное уравнение описывается асимптотической S-образной кривой с точкой перегиба, приходящийся на некоторый возраст.

Аналогично рассмотренным выше для уравнения Бергаланфи, описывающего весовой рост, также делались попытки «биологической» интерпретации входящих в него параметров. Так, высказывались соображения, что точка перегиба кривой роста должна соответствовать возрасту наступления половозрелости, когда происходит замедление роста рыбы из-за того, что часть энергии расходуется на генеративный обмен, а не на соматический рост.

В идеальных условиях, когда анализируются многолетние данные по росту какого-либо вида, действительно, перегиб кривой оказывается близок к возрасту наступления половозрелости, однако в случае описания роста по наблюдаемым данным, собранным, например, во время единовременной съемки, коэффициенты уравнения и тока перегиба кривой могут принимать существенно различные значения.

Уравнение Бергаланфи широко используется в ихтиологических исследованиях для описания как линейного, так и весового роста. Однако оно имеет существенный недостаток - в очень редких случаях зависимость длина-масса описывается кубическим уравнением. В то же время попытки применения иной функции приводят к усложнению уравнения и невозможности его использования в аналитических моделях популяций.

## Вопросы для самоконтроля

- 1) Уравнение Форда-Уолфорда.
- 2) Уравнение Бергаланфи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.
8. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ. БИОМАССА ПОПУЛЯЦИЙ. ТИПЫ РОСТА ПОПУЛЯЦИЙ

По определению популяция есть самовоспроизводящаяся группировка особей, обитающая на определенной территории или в ареале. Теоретически популяция бессмертна, и ее существование обеспечивается за счет постоянной замены отмирающих особей вновь рождающимися. Следовательно, простое наблюдение за биомассой популяции может не дать никаких результатов, т. к., находясь в относительно стабильных условиях, биомасса вообще не будет изменяться. Поэтому шкалу времени необходимо выбрать начиная с момента появления популяции на данной территории до ее стабилизации. Понятно, что такую популяцию можно наблюдать только в редких случаях, например при интродукции видов в новые условия. На самом деле популяция неотделима от биоценоза и обычно не появляется здесь в прямом смысле, а «рождается» в результате эволюции.

Для популяций характерны два типа роста: 1) рост при отсутствии лимитирующих факторов среды и 2) рост в условиях действия лимитирующих факторов среды.

*Рост популяции в нелимитирующих условиях: J-образный рост*

Предположим, что  $T$  — время жизни популяции и  $\gamma$  — некоторый показатель, характеризующий изменение биомассы популяции во времени. Тогда скорость роста популяции может быть представлена как

$$\frac{dB_w}{dT} = rB_w, \quad (1)$$

т. е. за элементарный промежуток времени  $dT$ , например за один год, биомасса популяции возрастает на величину  $dB_w$ , равную  $\gamma$ -ной части от фактической биомассы  $B_w$ .

Интегрирование данного выражения приводит к экспоненциальной функции

$$B_{wT} = B_{w0}e^{\gamma T} \quad (2)$$

Величина  $\gamma$  — мгновенный коэффициент скорости роста популяции. Логарифмирование выражения (2) дает линейную зависимость логарифма биомассы популяции от времени с тангенсом угла наклона прямой, равным  $\gamma$  (рис. 3):

$$\ln B_{wT} = \ln B_{w0} + \gamma T \quad (3)$$

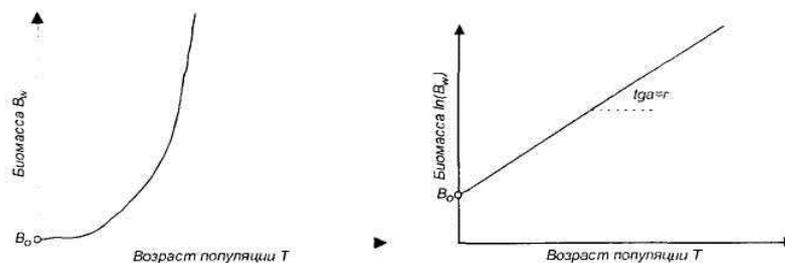


Рис.3. J-образный рост популяции

По форме графического представления роста популяции он и получил название «J-образного». Очевидно, что общая скорость роста популяции по типу J-образной кривой в нелимитирующей среде будет определяться собственными параметрами, такими как удельная скорость роста отдельных возрастных групп, возрастная структура, плодовитость и т. п. Следовательно, эта величина может рассматриваться как видоспецифичная и характеризующая биологические особенности рассматриваемой популяции. В связи с этим в экологии для описания роста популяции вводится ряд понятий.

Биотический (или репродуктивный) потенциал  $r_{\max}$  — максимальное значение мгновенного коэффициента скорости роста популяции как врожденное свойство организма к размножению и выживанию, т. е. к увеличению численности.

Фактическое значение  $r$ , как правило, бывает несколько меньшим, чем  $r_{\max}$ , например, из-за неблагоприятных условий размножения и развития, хотя сам закон роста может и соблюдаться. Для описания этого эффекта вводится понятие сопротивления среды.

Сопротивление среды  $\Delta r$  — разность между биотическим потенциалом  $r_{\max}$  и фактической скоростью роста популяции  $r$ .

*Рост популяции в лимитируемых условиях: S-образный рост*

Экспоненциальный рост наблюдается у большинства видов животных и растений, но если бы он имел место постоянно, то через короткий промежуток времени вся Земля была бы заполнена размножающимися особями. Следовательно, в естественных условиях бесконечный рост популяции по J-образной кривой происходит лишь в весьма редких случаях, и всегда проявляются факторы, тормозящие развитие популяции, регулирующие ее численность и предотвращающие перенаселение.

Возможны несколько способов регуляции роста популяции за счет биоценологических механизмов и собственных свойств популяции. Среди них наиболее важное значение имеет S-образный, или логистический, тип роста, который наблюдается в условиях действия лимитирующих факторов среды.

Суть S-образного роста: в процессе увеличения биомассы популяции со временем скорость роста не остается постоянной, а постепенно уменьшается и после достижения некоторой предельной величины биомассы становится равной нулю.

В основе логистического уравнения лежат следующие положения:

1. Популяции присущ некоторый биотический потенциал  $r_{\max}$ , который обуславливает ее рост при отсутствии лимитирующих факторов по типу J-образного роста.

$$\frac{dB_{вт}}{dt} = r_{\max} B_{вт} \quad (4)$$

2. Среда ограничивает рост популяции таким образом, что максимальная биомасса, которая может иметь место в данных условиях, оказывается равной  $K$ . Величина  $K$  называется «емкость среды». В промысловой этиологии «емкость среды» обозначается обычно как

$$B_{вт, \infty} = K \quad (5)$$

3. Скорость роста прямо пропорциональна разности между наличной биомассой  $B_{вт}$  и ее максимальной величиной  $K$ . Чем биомасса ближе к максимальной, тем меньше скорость роста. При достижении максимальной биомассы скорость роста снижается до нуля.

В дифференциальной форме логистическое уравнение имеет вид:

$$\frac{dB_{вт}}{dt} = r_{\max} B_{вт} (B_{вт, \infty} - B_{вт}) \quad (6)$$

Интегрирование приводит к зависимости биомассы популяции от времени:

$$B_{вт} = \frac{B_{вт, \infty}}{1 + e^{-r_{\max}(t - T_0)}} \quad (7)$$

На графике (рис. 4) уравнение описывается S-образной кривой, стремящейся к некоторому пределу.

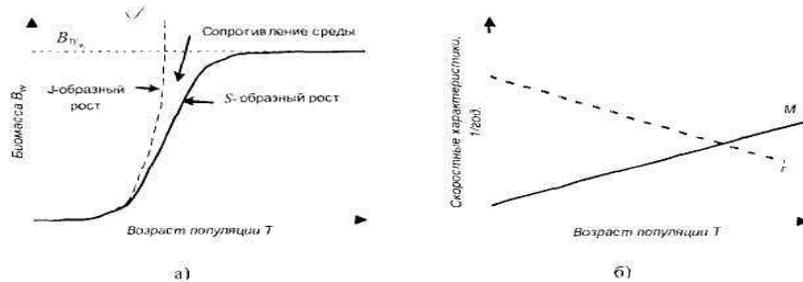


Рис. 4. S-образный рост популяции

Эта зависимость была впервые предложена бельгийским ученым П.-Ф. Ферхюльстом (1838) и переоткрыта позднее американскими математиками Р. Пирлом и Л. Ридом (Pearl, Read, 1920). Регуляция роста популяции осуществляется в связи с динамикой рассматривавшихся нами ранее первопричин — рождаемости  $R$  и естественной смертности  $M$ , изменение которых по мере возрастания величины популяции носит противоположенный характер. В результате по мере старения популяции скорость роста постепенно уменьшается до нуля (рис. 5а).

Существуют биоценоотические и внутривидовые механизмы регуляции роста, которые автоматически включаются в действие по мере достижения популяцией определенных пороговых состояний. К первым могут относиться ограниченность пищевых ресурсов, нерестовых площадей, элиминация особей хищниками, гибель в результате болезней, возникновение эпизоотии, каннибализм. Действие всех этих факторов усиливается по мере роста популяции.

Фактически скорость роста согласно уравнению (6) зависит не столько от времени жизни популяции  $T$ , сколько от достигнутой биомассы  $B_w$ . Как видно, уменьшение величины популяции приводит к возрастанию скорости роста (рис. 5б). Следовательно, рассматривая эксплуатируемую популяцию, можно предположить, что изменение биомассы популяции под воздействием промысла должно сопровождаться и изменением скорости ее роста. Промысел, воздействуя на популяцию, способствует увеличению ее продуктивности. Таким образом, промысел может выступать фактором, регулирующим рост популяции.

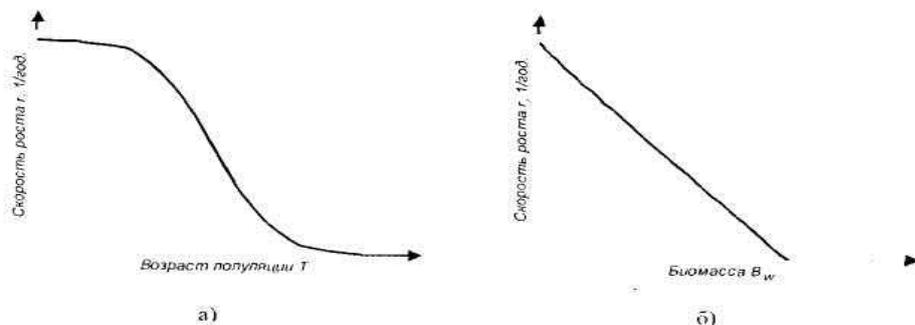


Рис. 5. Изменение скорости роста популяции в зависимости от времени (а) и достигнутой биомассы (б)

#### Типы стратегий экологического отбора в эволюции

Константы логистического уравнения  $r$  и  $K$  дали название концепции о двух типах экологического отбора в эволюции. Согласно этой концепции среди множества разнообразных экологических стратегий, свойственных тем или иным организмам и направленных в конечном итоге на повышение вероятности выжить и оставить потомство, можно выделить два типа стратегий.

1. *r-стратегия* определяется отбором, направленным прежде всего на повышение скорости роста популяции в начальный период увеличения численности, т. е. когда

плотность мала, слабо выражены тормозящие эффекты и кривая роста близка к J -образной. При r-стратегии отбираются следующие качества:

- высокая плодовитость;
- быстрое достижение половозрелости;
- короткий жизненный цикл.

Для низкоорганизованных видов (не рыб) r-стратегия также проявляется в способности быстро распространяться в новые места обитания (где отсутствуют лимитирующие факторы) и способности переживать неблагоприятные условия, например в состоянии покоящихся стадий, а затем быстро размножаться.

Типичными видами, характеризующимися r-стратегией, являются мелкие сельдеобразные — снеток, ряпушка, шпрот, а также, вероятно, моноцикличные виды — дальневосточные лососи. Для таких видов характерен короткий возрастной ряд, высокая амплитуда флуктуации численности, высокая продуктивность, слабая связь запас—пополнение.

2. *K-стратегия* направлена на повышение выживаемости (а соответственно и величины предельной плотности *K*) в условиях уже стабилизировавшейся численности при сильном воздействии конкуренции и хищничества. При этом отбираются следующие качества:

- повышение выживаемости каждого продуцированного потомка;
- конкурентоспособность;
- повышение защищенности от хищников и паразитов;
- совершенствование внутрипопуляционных механизмов регуляции численности.

Характерными представителями K-видов являются осетровые, акулообразные, крупные карповые, имеющие сложную популяционную структуры, длинный жизненный цикл, низкую индивидуальную плодовитость и естественную смертность, достаточно выраженную связь запас-пополнение.

В чистом виде r- или K-отбор в природе, конечно, не встречаются, а эволюция того или иного вида обычно происходит в результате их комбинации. При этом организму приходится выбирать одно из двух этих крайних направлений, которые, по сути, являются альтернативными. Так, например, нельзя одновременно иметь высокую плодовитость и продуцировать при этом крупных потомков.

С точки зрения исследования взаимодействий в системе запас-промысел концепция стратегий экологического отбора может в определенной степени служить биологическим основанием различий в подходах к эксплуатации. Виды, характеризующиеся r-стратегией, обычно обеспечивают высокую промысловую продуктивность и «выдерживают» высокую интенсивность промыслового использования; K-виды, наоборот, требуют умеренной эксплуатации.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Рост популяции в нелимитирующих условиях: J-образный рост.
- 2) Рост популяции в лимитируемых условиях: S-образный рост.
- 3) Типы стратегий экологического отбора в эволюции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная

1. **Шибаяев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибаяев С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. –

*Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.  
**Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## РЕГУЛЯЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ. ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ

### *Регуляция численности популяции*

Логистическая модель популяционного роста исходит из предположения о том, что для каждой популяции в каждом конкретном местообитании существует определенный «равновесный» уровень плотности или численности, т. е. уровень, при котором рождаемость равна смертности, а популяция, замещая саму себя за одно поколение, сохраняет постоянную численность (находится в стабильном состоянии). Если равновесный уровень превышен, то согласно логике логистической модели что-то в самой популяции или в окружающей среде должно измениться таким образом, чтобы смертность стала больше рождаемости, а популяция, соответственно, начала сокращать свою численность. Наоборот, в случае снижения численности ниже равновесного уровня процессы, происходящие в популяции или среде, должны привести к тому, чтобы рождаемость стала превышать смертность, а численность популяции соответственно начала расти.

Решение вопроса о механизме регуляции численности популяции имеет чрезвычайно важное значение, и в настоящее время можно выделить три концепции, по-разному объясняющие этот механизм.

*Регуляционизм* исходит из представления о том, что каждая популяция обладает определенным уровнем плотности и существуют выработавшиеся в ходе эволюции внутрипопуляционные и биоценотические механизмы, направленные на поддержание этой плотности. Отклонение от оптимальной плотности автоматически включает эти механизмы, возвращающие плотность к исходному значению.

Основными факторами, обуславливающими регулирование численности популяции, являются факторы, зависящие от плотности. В общем случае факторами, зависящими от плотности, в экологии называются те, удельное (т. е. в расчете на одну особь) значение которых меняется при изменении плотности популяции. Например, при увеличении плотности может наблюдаться повышение смертности и снижение рождаемости.

*Стохастизм* основывается на предположении о том, что равновесная плотность популяции есть лишь некоторая средняя величина, вокруг которой происходят постоянные колебания. Эти колебания обусловлены воздействием множества факторов, как зависящих от плотности популяции, так и не зависящих, действие которых в большинстве случаев является случайным.

Обе этих концепции предполагают, что регуляция численности происходит в том случае, когда численность популяции отклоняется от оптимальной и ее воздействие на среду обитания оказывает обратное влияние на саму популяцию. Этим они отличаются от третьей концепции - саморегуляции.

*Саморегуляция* предполагает, что любая популяция способна ограничивать рост численности до того момента, когда из-за высокой плотности начнут сказываться неблагоприятные изменения среды. Как считают сторонники этой концепции, подобное оказывается возможным вследствие того, что по мере увеличения плотности популяции меняется не качество среды (например, количество пищи, приходящейся на одну особь), а качество самих особей, образующих популяцию.

Можно выделить три механизма, обеспечивающих саморегуляцию при возрастании численности популяции:

1) увеличение числа контактов между особями влечет за собой повышение вероятности возникновения стрессового состояния. Последнее может привести к резкому сокращению рождаемости и возрастанию смертности;

- 2) усиление миграционных процессов из основных мест обитания в краевые, где условия менее благоприятны и смертность может быть гораздо выше;
- 3) изменение генетического состава популяции, например замена быстро размножающихся генотипов медленно размножающимися и склонными к миграции.

Указанные концепции регулирования численности популяций не являются взаимоисключающими, и, скорее всего, в природных условиях действуют все механизмы в тех или иных сочетаниях.

#### *Продуктивность популяций*

Под продукцией понимается суммарный прирост массы всех особей популяции за определенный промежуток времени. Продукция подразделяется на два типа: чистую  $P_R$  и валовую  $P_{Tot}$ .

##### *Чистая продукция*

*Чистая (реальная)  $P_R$* — это та продукция (прирост биомассы), которая остается в водоеме после отправления всех функций жизнедеятельности популяции. Чистая продукция может быть как положительной (если к концу периода биомасса популяции уменьшается), так и отрицательной.

##### *Определение чистой продукции.*

Способ 1. Известна численность возрастной группы  $t$  в году  $x$  ( $N_{xt}$ ) и средняя навеска особи ( $W_{xt}$ ), а также численность и навеска ( $W_{x+1,t+1}$ ;  $N_{x+1,t+1}$ ) этой же возрастной группы в следующем году  $x+1$ , когда возраст рыб увеличился на единицу

$$P_{x,t} = N_{x+1,t+1} W_{x+1,t+1} - N_{x,t} W_{x,t} \quad (1)$$

$$P_{x,t} = B_{W_{x+1,t+1}} - B_{W_{x,t}} \quad (2)$$

Продукция всей популяции будет определяться суммой продукции всех возрастных групп:

$$P_x = \sum_{t=t_{\min}}^{t_x} P_{x,t}$$

Способ 2. Известны численность возрастной группы ( $N_{xt}$ ), средняя масса особи ( $W_{xt}$ ) в году  $x$  и скорости изменения эти параметров - мгновенный коэффициент общей смертности ( $Z_t$ ) и скорость индивидуального весового роста ( $G_t$ ):

$$N_{x+1,t+1} = N_{x,t} e^{-Z_t}; W_{x+1,t+1} = W_{x,t} e^{G_t} \quad (4)$$

$$B_{W_{x+1,t+1}} = B_{W_{x,t}} e^{G_t - Z_t} \quad (5)$$

Теоретически скорость смертности и роста могут изменяться как в зависимости от возраста особи ( $t$ ), так и от времени ( $x$ ), тогда они будут описываться коэффициентами  $Z_{xt}$  и  $G_{xt}$ .

Проводя преобразования, нетрудно показать, что величина чистой продукции возрастной группы определяется начальной биомассой и соотношением между мгновенными коэффициентами смертности и весового роста:

$$P_{R_{x,t}} = B_{W_{x+1,t+1}} - B_{W_{x,t}} = B_{W_{x,t}} e^{G_t - Z_t} - B_{W_{x,t}} \quad (6)$$

$$P_{R_{x,t}} = B_{W_{x,t}} (e^{G_t - Z_t} - 1)$$

##### *Валовая продукция*

*Валовая  $P_{Tot}$*  - продукция, образовавшаяся в процессе существования популяции. Она складывается из реальной продукции, оставшейся в водоеме к концу года ( $P_R$ ), биомассы особей, погибших в результате естественных причин ( $P_M$ ), а также массы рыб, которые были изъяты промыслом ( $P_F$ ).

$$P_{Tot} = P_R + P_M + P_F \quad (7)$$

или

$$P_{Tot} = P_R + P_E \quad (8)$$

где  $P_E$  - элиминированная продукция.

Валовая продукция всегда положительна, даже если биомасса популяции уменьшается с течением времени.

*Определение валовой продукции.* Известны численность возрастной группы ( $N_v$ ), средняя масса особи ( $W_{xt}$ ) в году  $x$  и скорости изменения эти параметров— мгновенный коэффициент общей смертности ( $Z_{xt}$ ) и скорость индивидуального весового роста ( $G_{x,t}$ ):

$$N_{x+1,t+1} = N_{x,t} e^{-Z_t}; W_{x+1,t+1} = W_{x,t} e^{G_t},$$

$$B_{W_{x+1,t+1}} = B_{W_{x,t}} e^{(G_t - Z_t)},$$

Тогда скорость образования продукции  $P$  будет прямо пропорциональна биомассе возрастной группы, где коэффициентом пропорциональности будет выступать мгновенный коэффициент скорости весового роста  $G$ :

$$\frac{dP_{Tot}}{dt} = G_t B_{W_{x,t}} e^{(G_t - Z_t)},$$

Данное уравнение показывает, что за элементарный промежуток времени  $dt$ , биомасса популяции (одной возрастной группы) прирастает на величину  $dP_{Tot}$ . Интегрируя в пределах от нуля до единицы (от начала до конца года)

$$\int_{t=0}^{t=1} dP_{Tot} = \int_{t=0}^{t=1} G_t B_{W_{x,t}} e^{(G_t - Z_t)} dt,$$

получаем выражение продукции, обеспечиваемой возрастной группой  $t$  в году  $x$ :

$$P_{Tot,x,t} = B_{W_{x,t}} \frac{G_t}{G_t - Z_t} \left( e^{(G_t - Z_t)} - 1 \right).$$

Продукция всей популяции будет рассчитываться аналогично уравнению (3).

#### *Изменение продуктивности популяции в процессе роста*

В промысловой ихтиологии логистическая кривая роста популяции обычно связывается с именем норвежского ученого Йорта (1933), который сформулировал следующие закономерности, определяющие рост популяции и ее продуктивность.

1) после заселения водоема численность рыб быстро увеличивается в связи с их высокой плодовитостью и избытком корма;

2) достигнув некоторой численности, когда количество пищи, приходящееся на одну особь, оказывается недостаточным, рост популяции замедляется и в конце концов вообще прекращается;

3) величина годового прироста стада ( $P$ ) определяется разностью между величинами численности или биомассы популяции в два смежных периода:

- продукция небольшая в начальный период существования популяции, т. к., несмотря на высокую скорость весового роста, фактическая численность популяции относительно невысока;
- продукция максимальна при средней численности популяции (в точке перегиба);
  - продукция равна нулю в зоне максимальной биомассы.

Во всех случаях речь идет о реальной продукции.

В действительности процесс формирования продукции имеет достаточно сложный характер и зависит от параметров роста конкретной популяции. Увеличение биомассы популяции на начальном этапе приводит к возрастанию общей и реальной продукции. Затем, после достижения точки перегиба кривой роста, общая продукция продолжает расти, но реальная продукция уменьшается, следовательно, увеличивается та часть продукции, которая утилизируется внутри самой системы. В конце концов валовая продукция достигает максимума, а реальная продукция стремится к нулю.

Теоретически, согласно уравнению логистического роста, кривая зависимости реальной продукции от биомассы популяции должна описываться симметричной параболой с максимумом в точке  $B_{\infty}/2$ .

Однако при анализе числовых значений максимум может быть растянут на несколько лет.

Таким образом, продукция есть собственное свойство популяции, которое зависит от действия внешних факторов. Промысел, тем или иным способом, изменяя биомассу популяции, оказывает воздействие и на ее продуктивность. Можно подобрать такие

параметры промысла, чтобы привести популяцию в состояние  $B_{\infty}/2$ , соответствующее максимальной чистой продукции.

*Соотношение между величиной продукции и уловом*

Представление о том, что промысел в определенной степени формирует продуктивность популяции, послужили основой для введения двух понятий:

1. *Уравновешенный улов  $Y_{ws}$*  - улов, соответствующий величине годовой продукции популяции.

2. *Максимальный уравновешенный улов  $MSY$* — улов, который достигается при максимальной продуктивности популяции.

Эти понятия были введены М. Шефером (1955) для оценки степени оптимальности промысла.

Численно промысловая продукция будет равна величине годового улова ( $Y_w$ ).

Для нахождения ее преобразуем уравнение

$$\frac{dB_w}{dt} = r_{max} B_w (B_{\infty} - B_w) - F B_w,$$

к виду:

$$B_w = \frac{B_{\infty}}{1 + e^{-r_{max} - F)(T - t_0)}},$$

где  $F$  — скорость изъятия рыб промыслом.

Будем варьировать значение  $F$ .

Как видно, величина чистой продукции зависит от интенсивности промысла и находится в сложной связи с промысловой продуктивностью:

- при низкой интенсивности промысла промысловая продуктивность всегда меньше, чем чистая продукция популяции;
- при высокой интенсивности промысла улов превышает величину чистой продукции;
- равенство улова чистой продукции достигается только в одном случае - при  $F = 1$ .

Таким образом, чистая продукция, оцененная для девственной популяции (при  $F = 0$ ), не может быть ориентиром для достижения оптимального промысла, т. к. ее величина сама зависит от интенсивности рыболовства. Увеличение интенсивности промысла приводит к перераспределению между чистой и промысловой продукциями: чистая продукция уменьшается, а промысловая увеличивается.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Регуляция численности популяции.
- 2) Продуктивность популяций.
- 3) Чистая продукция.
- 4) Валовая продукция.
- 5) Изменение продуктивности популяции в процессе роста.
- 6) Соотношение между величиной продукции и уловов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шибяев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибяев С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

#### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических

- и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. - 272 с.
  3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
  4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
  5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
  6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
  7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.
- Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ. МОДЕЛЬ БАРАНОВА

Представления о том, что продуктивность популяции помимо прочих факторов определяется степенью воздействия рыболовства, послужили основой для возникновения целой плеяды моделей, позволяющих оценить промысловую продуктивность популяции в зависимости от интенсивности промысла.

Основная идея продукционного подхода сводится к следующей схеме:

- 1) в отсутствие промысла результаты роста популяции (пополнение + весовой рост) уравниваются потерями из-за естественной смертности. Биомасса запаса стабилизируется на некотором уровне, определяемом емкостью среды;
- 2) промысел, как дополнительная причина смертности, сокращает запас и тем самым нарушает сложившееся равновесие. Продуктивность запаса возрастает благодаря высвободившимся кормовым ресурсам и стремится вернуть запас в утраченное равновесное состояние;
- 3) если прибавочную продукцию уравнивать величиной промыслового изъятия, то запас сохранится в этом новом состоянии равновесия, которое будет соответствовать данной интенсивности промысла.

Построив кривую зависимости величины улова от величины промыслового усилия по данным, собранным в течение определенного периода, в последующем можно решить обратную задачу: рассчитать прогнозную величину вылова рыбы в зависимости от планируемой интенсивности промысла. Продукционные модели или модели прибавочной продукции используются в практике рыбохозяйственных исследований, прежде всего для решения задач регулирования рыболовства.

*Модель Ф. И. Баранова (1925)*

Самая первая продукционная модель была разработана Ф. И. Барановым, который попытался составить прогноз вылова северокаспийской воблы на год вперед с учетом результатов промысла в текущем году. Суть рассуждений Баранова сводится к следующему.

Пусть годовая продуктивность водоема, выраженная в некоторых кормовых единицах, составляет  $P_K$  (например, продукция зообентоса), а биомасса рыбы, которая может существовать в водоеме, -  $B_{w0}$ . Соотношение этих двух величин определяет, сколько корма необходимо потратить для поддержания существования единицы биомассы рыбы:

$$k = \frac{P_K}{B_{w0}}$$

Величина  $k$  — коэффициент эффективности трансформации энергии в экологической пирамиде.

Допустим далее, что из водоема выловлено некоторое количество рыбы  $Y_w$ , таким образом, что освободилось некоторое количество корма  $P_K$ . Нетрудно определить, сколько рыбной продукции может образоваться на этой освободившейся кормовой базе:

$$Y_{w'} = \frac{P_K}{r}$$

где  $r$  - количество корма, которое необходимо затратить для формирования единицы рыбной продукции. В рыбоводстве это показатель носит название «кормовой коэффициент».

Если предположить, что промысел стабилен, то можно записать выражение:

$$kB_w + rY_{w'} = P_K$$

где  $B_w$  — биомасса остающейся после вылова части запаса.

Уравнение свидетельствует о том, что годовое потребление корма, расходуемого на поддержание оставшегося запаса, и корма, расходуемого на формирование добавочной продукции (которая изымается в виде улова), равно кормности водоема. Подставив

$$k = \frac{P_k}{B_{w_0}}$$

в

$$kB_{w'} + rY_{w'} = P_k,$$

, получаем

$$kB_{w'} + rY_{w'} = kB_{w_0}.$$

Введем коэффициент  $y=r/k$ , который показывает, во сколько раз необходимо затратить больше корма на формирование продукции, чем на поддержание жизнедеятельности популяции:

$$B_{w'} + yY_{w'} = B_{w_0}.$$

Определим интенсивность промысла  $u$  как долю биомассы, изымаемой из популяции:

$$u = \frac{Y_{w'}}{B_{w'} + Y_{w'}}.$$

Несложные преобразования позволяют получить зависимость величины улова от биомассы естественного запаса и интенсивности промысла:

$$Y_{w'} = \frac{B_{w_0}}{\frac{1}{u} + (y-1)}.$$

Смысл уравнения: при постоянной величине естественного запаса, который определяется кормностью водоема, улов может изменяться в зависимости от интенсивности промысла и величины кормового коэффициента и быть стабильным.

Баранов, приняв, что на формирование рыбопродукции тратится в 3 раза больше корма, чем на поддержание жизнедеятельности популяции ( $y = 3$ ), рассчитал биомассу воблы и определил зависимость между интенсивностью промысла и величиной улова.

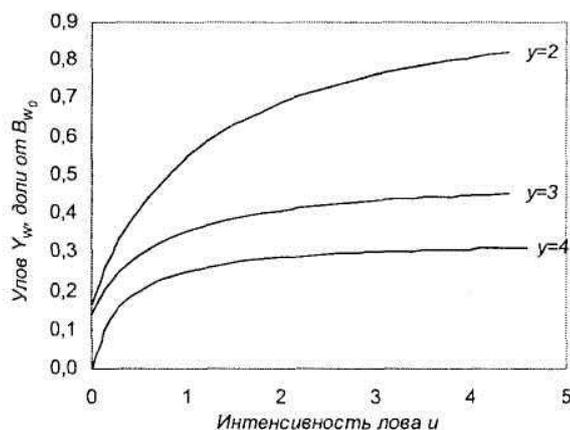


Рис. 6. Зависимость изменения общего улова от интенсивности промысла, рассчитал биомассу воблы и определил зависимость между интенсивностью промысла и величиной улова

Полученная зависимость свидетельствует о том, что при увеличении интенсивности промысла улов постепенно увеличивается, стремясь к асимптоте (рис. 6).

Подход Баранова был очень упрощенным и использовал предполагаемые значения коэффициентов, но он заложил теоретическую основу продукционных моделей (еще до Рассела, 1931).

## Вопросы для самоконтроля

- 1) Основная идея продукционных моделей.
- 2) Модель Ф. И. Баранова

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

### *Дополнительная*

1. **Аксютинa, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютинa - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.  
**Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №6

### СОВРЕМЕННЫЕ ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

#### Основное уравнение продукционных моделей

Согласно аксиоме Рассела (1931) популяция находится в стабильном состоянии, если скорость ее роста уравновешивается убылью:

$$\frac{dB}{dt} = B[r(B) + g(B) + M(B) + F(f)],$$

где:  $B$  — биомасса облавливаемой части запаса;  $r$ ,  $g$ ,  $M$  - мгновенные коэффициенты скоростей протекания основных процессов - пополнения, индивидуального роста, естественной смертности.  $F$  - мгновенный коэффициент промысловой смертности как функция промыслового усилия  $f$

Первые три члена в скобках характеризуют процессы, в совокупности, составляющие естественные регуляторные механизмы популяции. Все они являются функцией текущей величины запаса. Промысел влияет на них через изменение биомассы. В продукционных моделях все они учитываются в виде «обезличенной» функции, показывающей скорость роста биомассы ( $G$ ):

$$G(B) = r(B) + g(B) + M(B).$$

Тогда уравнение динамики биомассы можно записать как

$$\frac{dB}{dt} = B[G(B) - F(f)].$$

В том случае, когда популяция находится в состоянии равновесия, скорость ее роста будет равна нулю. Этому состоянию соответствует так называемый *уравновешенный улов*  $Y_{ws}$  равный чистому естественному приросту биомассы запаса за рассматриваемый интервал времени (с ограничениями, которые были оговорены в главе, посвященной продуктивности популяций):

$$\begin{aligned} G(B) &= F(f), \\ Y &= BG(B) = BF(f) \end{aligned}$$

Таким образом, каждой величине промыслового усилия  $f$  соответствует вполне определенная величина биомассы  $B$  и, следовательно, величина уравновешенного улова  $Y$ .

*Кривая уравновешенного улова* описывается функцией  $Y=Y(f)$  и может служить для принятия решений по регулированию промысла в соответствии с концепцией уравновешенного улова. Используя эту кривую, можно определить оптимальную величину промыслового усилия ( $f$ ), необходимую для достижения максимальной величины улова.

Все продукционные модели различаются только кривой роста биомассы популяции  $BG(B)$  и промысловой убыли  $BF(f)$ .

#### Модель Шефера (Schaefer, 1954, 1957)

Модель Шефера исходит из классической параболической зависимости продуктивности популяции от ее фактической биомассы. Полагая, что часть продукции используется промыслом в виде улова, а сама продукция определяется биомассой популяции, в свою очередь, зависящей от промысла, уравнение можно представить в виде:

$$Y_w = qfB_w - q^2 f^2 B_w \frac{1}{k},$$

где:  $q$  - коэффициент улавливаемости – безразмерная величина;  $f$  - промысловое усилие, например количество судов, рыбаков, орудий лова;  $B_{w\infty}$  - максимальная уравновешенная биомасса, емкость среды;  $k$  - коэффициент, характеризующий мгновенную скорость роста запаса при отсутствии лимитирующего влияния плотности — биотический потенциал.

На графике величина уловов описывается перевернутой симметричной параболой. В зависимости от величины биотического потенциала популяции  $k$ , изменяется ширина основания параболы и высота и положение максимума.

Найдем величину улова, приходящуюся на единицу промыслового усилия:

$$Y_w/f = qB_{w_\infty} - q^2 f B_{w_\infty} \frac{1}{k}$$

Введя обозначения  $a_0 = qB_{w_\infty}$  и  $a_1 = q^2 B_{w_\infty} / k$  приходим к обычному линейному уравнению зависимости улова на усилие от величины самого промыслового усилия:

$$Y_w/f = a_0 - a_1 f.$$

За это свойство модель Шефера была названа название «линейной».

Коэффициенты уравнения легко находятся методом наименьших квадратов. Точка  $a_0$  является фиктивной, т. к. не существует улова при отсутствии промысла ( $f=0$ ).

Введем обозначения:

$$y = Y_w; \quad x = f; \quad a = q^2 B_{w_\infty} \frac{1}{k}; \quad b = qB_{w_\infty}; \quad c = 0$$

и преобразуем уравнение

$$Y_w = qfB_{w_\infty} - q^2 f^2 B_{w_\infty} \frac{1}{k},$$

к виду обычной параболы:

$$y = ax^2 + bx + c.$$

Тогда координаты вершины параболы могут быть определены как

$$x_0 = \frac{b}{2a},$$

$$y_0 = \frac{4ac - b^2}{4a},$$

а величина максимального уловов  $MSY$  и оптимальной интенсивности промысла может быть рассчитана как

$$MSY = y_0 = \frac{4ac - b^2}{4a} = \frac{(qB_{w_\infty})^2}{4q^2 B_{w_\infty} \frac{1}{k}},$$

$$f_{MSY} = x_0 = \frac{b}{2a} = \frac{qB_{w_\infty}}{2q^2 B_{w_\infty} \frac{1}{k}}.$$

$$f_{MSY} = \frac{1}{2qB_{w_\infty}}$$

Проводя преобразования, получаем

$$MSY = \frac{k}{4},$$

Таким образом, оптимальные параметры промысла зависят от собственных характеристик популяции - ее биотического потенциала и емкости среды. Учитывая, что на практике значения коэффициентов  $q$ ,  $k$ ,  $B_{w_\infty}$  обычно неизвестны, оценку максимального уловов осуществляют по уравнениям.

*Модель Пелла—Томлинсона (Pella, Tomlinson, 1969)*

Модель Пелла—Томлинсона представляет нелинейную зависимость уловов от промыслового усилия вида:

$$Y_w = qfB_{w_\infty} \left(1 - \frac{qf}{k}\right)^{m-1},$$

где  $m$  — параметр,  $m > 1$ .

Уравнение в зависимости от параметра  $m$  описывает целое семейство кривых, причем при  $m = 2$  модель превращается в модель Шефера.

*Модель Фокса (Fox, 1970)*

$$Y_{w_x} = qfB_{w_x} e^{-bf},$$

Продукционная модель Фокса использует просто экспоненциальное уравнение для описания зависимости величины улова от промыслового усилия:

где  $B$  — эмпирический коэффициент,  $B > 0$ . Кривая продуктивности популяции по Фоксу представляет собой несимметричную выпуклую кривую.

В этом случае фактически полностью теряется изначальный смысл, заложенный в продукционные модели о параболической зависимости продуктивности популяции от ее биомассы, а просто подбираются коэффициенты функции, которые обеспечивают наибольшую точность аппроксимации. Учитывая большую гибкость экспоненциальной функции, можно предположить, что она достаточно точно будет аппроксимировать большинство наблюдаемых зависимостей, хотя с формальной точки зрения нет никаких оснований ограничивать возможность применения любых других видов уравнений.

*Ограничения продукционных моделей*

Продукционные модели основываются на двух видах первичных данных:

- 1) промысловые усилия за ряд лет  $f_x$ ;
- 2) абсолютные величины уловов за тот же период  $Y_{w_x}$ .

В совокупности эти показатели позволяют определить величину улова, приходящуюся на единицу промыслового усилия и построить ту или иную модель.

Благодаря тому, что продукционные модели требуют крайне ограниченной и легкодоступной информации данных по уловам и усилиям (уловам на усилия), область их применения значительно шире, чем аналитических и когортных моделей. Это достоинство, однако, имеет и свою негативную сторону, поскольку достигается за счет условного огрубления объекта моделирования — эксплуатируемой популяции.

В обобщенном виде основные допущения сводятся к следующим:

- 1) Эксплуатируемый запас считается полностью изолированным, в противном случае величина улова будет зависеть не только от интенсивности промысла, но также и от миграции особей.
- 2) Продукция популяции определяется только величиной ее общей биомассы, которая в свою очередь зависит от интенсивности промысла. На самом деле промысел, согласно формальной теории жизни рыб, влияет не только на общую биомассу, но и на возрастную структуру популяции. В результате изменяется и ее продуктивность. В случае омоложения популяции относительная скорость роста увеличивается (при увеличении интенсивности лова), а при старении — снижается (при снижении промысловой нагрузки).
- 3) Общим и наиболее существенным недостатком продукционных моделей является то обстоятельство, что равновесные значения параметров оцениваются с помощью данных, характеризующих, по сути, неуравновешенное состояние системы запас—промысел. Действительно, согласно формальной теории жизни рыб Баранова после изменения интенсивности промысла необходимо  $f$ , -  $t$  лет для того, чтобы популяция пришла в стабильное состояние.

Предположим, что мы пользуемся простейшей моделью Шефера. Тогда для нахождения параметров параболы необходимо, по крайней мере, три точки с известными значениями промыслового усилия и соответствующими им величинами улова. Следовательно, если эксплуатируемая популяция включает 10 возрастных групп, то нужно 30 лет для того, чтобы получить эти точки, причем интенсивности промысла может изменяться только на 1-м, 10-м и 20-м году.

Фактически интенсивность промысла меняется ежегодно и для нивелирования факта нестабильности популяции применяются различные подходы.

- 4) В течение периода сбора первичной информации для построения продукционной модели селективность промысла не должна изменяться.

В противном случае величина улова будет зависеть не от интенсивности промысла, а от шага ячеи, используемой в орудиях лова, и от соотношения усилий орудий лова, имеющих различные селективные характеристики, например разноглубинных тралов и дрейфтерных сетей.

В океаническом промысле, когда используются стандартизованные орудия лова, применение которых к тому же жестко регламентировано, данное требование можно соблюсти.

На промысле во внутренних водоемах подобное практически невозможно.

5) Построение производственной кривой возможно, только если в период сбора первичных данных интенсивность промысла изменялась в достаточных пределах. В противном случае эмпирические точки будут охватывать лишь небольшую область изменения продукции популяции, и тогда через эти точки можно провести бесконечное множество кривых.

#### *Развитие производственных моделей*

Допущения, лежащие в основе классических производственных моделей, далеко не всегда оказываются приемлемыми для оценки реальных объектов, поэтому в своем оригинальном виде эти модели сейчас используются сравнительно редко. Для практических целей все чаще стали применять их модификации, позволяющие исправить или смягчить недостатки моделей, вызванные расхождением отдельных допущений с действительностью, либо повысить адекватность модели путем учета дополнительных факторов, имеющих важное значение в конкретном случае. Используются следующие подходы:

1. Метод Галланда. Проводится усреднение уловов и промысловых усилий за некоторые периоды (по 2-м, 3-м, 5-ти годам). Период усреднения должен зависеть от продолжительности жизни рыбы. Недостаток – не учитывается воздействие на запас промыслового усилия предшествующих лет.

2. Метод Фокса. Рассчитываются средневзвешенные промысловые усилия путем присвоения соответствующих весов значениям промыслового усилия.

3. Методы Уолтера и Шевалье. Фактические уловы на усилие корректируются в соответствии с их отклонениями от равновесных величин.

#### *Динамические производственные модели*

Методы коррекции исходных данных в некоторой степени сглаживают неточности классических производственных моделей, однако наиболее радикальным является разработка так называемых «динамических версий производственных моделей».

Динамические модификации позволяют проследить не только уравновешенные, но и промежуточные стадии, т. е. траекторию движения запаса от исходного состояния к новому равновесному. Это, в частности, может применяться в прогностических целях.

Динамические производственные модели можно разделить на два класса:

1) Простые модели, позволяющие оценить улов в текущем году в зависимости от биомассы запаса в году предыдущем:

$$Y_{W_x} = Y_{WS_x} + \frac{q/B_{W_x}}{k} \ln \frac{B_{W_{x-1}}}{B_{W_x}}$$

где:  $Y_{W_x}$  - улов в году  $x$ ;  $Y_{WS_x}$  - уравновешенный улов в году  $x$ ;  $B_{W_x}$ ,  $B_{W_{x-1}}$  - биомасса популяции в текущем и предыдущем годах.

Как видно, второй член уравнения показывает отклонение улова от равновесного состояния (по классической производственной модели) в зависимости от биомассы в предшествующем году.

2) Инерционные модели, или модели с запаздыванием, позволяющие учесть влияние на улов пополнения, которое сформировалось в предыдущие годы. В свою очередь пополнение зависит от величины запаса в предшествующий период.

## Вопросы для самоконтроля

- 1) Основное уравнение продукционных моделей.
- 2) Модель Шефера.
- 3) Модель Пелла—Томлинсона.
- 4) Модель Фокса.
- 5) Развитие продукционных моделей.
- 6) Ограничения продукционных моделей.
- 7) Динамические продукционные модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.  
**Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №7

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ МОДЕЛИ. МОДЕЛЬ БАРАНОВА

Аналитические промысловые модели описывают состояние популяции - ее численность, биомассу и величину улова — в виде простых уравнений в зависимости от двух параметров: скорости весового роста особей  $G$  и величины общей смертности  $Z = M + F$ . Принимается, что величина улова прямо пропорциональна среднегодовой биомассе популяции:

$$Y_w = FB_w$$

В этом уравнении коэффициентом пропорциональности выступает мгновенный коэффициент промысловой смертности  $F$ .

Основное назначение аналитических моделей заключается в изучении эффекта воздействия естественной, промысловой смертности и скорости роста на величину улова, а также другие популяционные характеристики с целью выбора оптимальных параметров промысла. Различия всех аналитических моделей сводятся лишь к способу представления темпа весового роста рыб и возрастной динамики смертности.

*Модель Ф. И. Баранова (1918)*

Исторически первой была разработана модель Ф. И. Баранова, в которой он на основании анализа имевшихся эмпирических данных по североморской камбале выдвинул следующие исходные посыпки построения модели.

1. Естественная смертность не зависит от возраста рыбы и остается постоянной на протяжении всей ее жизни:

$$M_t = \text{const.}$$

2. Промысел равномерно использует все размерные или возрастные группы, т. к. производится неселективным орудием лова типа трала или невода:

$$F_t = \text{const.}$$

3. Рост рыб происходит по линейному закону, т. е. за единичный интервал времени (например, за один год) рыба прирастает на одну и ту же величину (например, на 4 см):

$$L_t = at$$

где,  $a = \text{const}$  — коэффициент, определяющий среднюю скорость роста.

4. Связь между длиной и массой рыбы описывается кубической зависимостью вида

$$W = w_0 L^3$$

где  $w_0$  — видоспецифичный коэффициент.

5. Этот подход позволил рассматривать скорость гибели рыб не в связи с их возрастом, а в зависимости от достижения ими определенной длины. В этом случае уравнение Баранова может быть записано в виде:

$$N_L = N_0 e^{-ZL}$$

а изменения биомассы каждой размерной группы будут описываться уравнением:

$$B_L = N_0 e^{-ZL} w_0 L^3$$

Определим величину улова, который может быть получен от популяции как:

$$\frac{dY_w}{dL} = FB_L$$

$$dL$$

*Смысл уравнения:* за элементарный промежуток времени, в течение которого рыба прирастает на величину  $dL$ , от данной размерной группы длиной  $L$  изымается некоторая величина улова  $dY_w$ , равная  $F$ -ной части от биомассы размерной группы  $B_L$ .

Подставляя

$$B_L = N_0 e^{-ZL} w_0 L^3 \quad \text{в} \quad \frac{dY_w}{dL} = FB_L$$

получаем

$$\frac{dY_w}{dL} = FN_0 e^{-ZL} w_0 L^3$$

и интегрируя уравнение в пределах от  $L_c$  (длина первой поимки, при которой рыба уже не может пройти через ячею) до бесконечности, приходим к выражению величины улова, который может быть получен от всей популяции:

$$\int_{L_c}^{\infty} dY_w = \int_{L_c}^{\infty} FN_0 e^{-ZL} w_0 L^3 dL,$$

$$Y_w = \frac{FN_0 e^{-ZL_c} w_0 L_c^3}{Z} \left[ 1 + \frac{3}{ZL_c} + \frac{6}{(ZL_c)^2} + \frac{6}{(ZL_c)^3} \right].$$

На основании этого уравнения Баранов исследовал влияние величины естественной и промысловой смертности на улов и биомассу популяции.

*Основными недостатками модели Баранова являлись:*

- 1) упрощенное представление темпа роста рыб как линейной функции возраста и кубической зависимости длина-масса;
- 2) рассматривался только один параметр промысла - его интенсивность, влияние же селективности орудий лова не анализировалось.

В последующем модель Баранова практически не использовалась, но идеи, которые были в нее заложены, послужили основой для развития всех более поздних моделей путем уточнения способа представления основных входящих параметров.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Аналитическая модель Ф. И. Баранова.
- 2) Основные недостатки модели Баранова.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шибаетов, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибаетов С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

#### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.

**Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №8

### МОДЕЛЬ БИВЕРТОНА-ХОЛТА (BEVERTON, HOLT, 1959)

Р. Бивертон и С. Холт впервые в наиболее законченном виде разработали аналитическую модель динамики эксплуатируемой популяции и сформулировали теоретические подходы к регулированию рыболовства.

1. Рассматривается промысловая часть популяции, ограниченная возрастом пополнения  $t_r$  и предельным возрастом жизни рыбы  $t_\lambda$ .

2. Динамика численности популяции определяется воздействием естественной смертности  $M$ , не зависящей от возраста:  $t-t_0$

$$M_t = \text{const.}$$

3. Темп линейного роста особей описывается функцией Бергаланфи

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]$$

4. Принимается кубическая зависимость массы тела рыб от ее длины

$$W = w_0 L^3$$

5. Темп весового роста особей описывается кубической функцией Бергаланфи

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]^3$$

Функция Бергаланфи для весового роста путем разложения куба разности двух чисел

$$(a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$$

преобразуется к виду, удобному для последующих преобразований:

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]^3 = W_\infty [1^3 - 3e^{-K(t-t_0)} + 3e^{-2K(t-t_0)} - e^{-3K(t-t_0)}]$$

или

$$W = W_\infty \sum_{n=0}^{m=3} \Omega_n e^{-nK(t-t_0)},$$

$$n=0$$

где:  $n = 0, 1, 2, 3$ ;  $\Omega_n = 1, -3, 3, -1$

6. Пополнение стада рекрутами происходит мгновенно в возрасте  $t_r$  при численности  $R$ .

7. Эксплуатация поколения начинается по достижении возраста  $t_c$  при численности  $R_{tc}$ .

8. Предполагается использование неселективного орудия лова типа трала или невода.

Следовательно, значение мгновенного коэффициента промысловой смертности будет одинаковым для всех возрастных групп эксплуатируемой части популяции и равным нулю для всех особей младше возраста  $t_c$ :

при  $t < t_c$   $F=0$

при  $t \geq t_c$   $F = \text{const.}$

9. Динамика численности младших возрастных групп до достижения ими возраста  $t_r$  не рассматривается ввиду следующих соображений:

а) несходства характера динамики численности молодежи и взрослых рыб;

б) трудности оценки численности младших возрастных групп и в особенности личинок;

в) слабого влияния численности личинок на уровень пополнения  $R$  из-за их высокой естественной смертности.

Такой подход обусловил необходимость выражения всех величин, характеризующих как саму популяцию (ее численность и биомассу), так и результаты рыболовства (величину улова), в некоторых условных единицах — значениях параметра, приходящегося на единицу пополнения.

Такой подход имеет существенное преимущество, так как

1. определение численности пополнения является самостоятельной и весьма трудной задачей;
2. позволяет без оценки численности пополнения исследовать влияние на популяцию только факторов промысла и выбрать оптимальные параметры рыболовства;
3. сама по себе величина  $R$  не оказывает никакого влияния на форму зависимостей, описывающих параметры популяции. Следовательно, такой подход позволяет

проводить сравнение динамики различных популяций в «едином масштабе» при некоторой условно заданной численности популяции.

*Математическое выражение основных параметров*

1. В общем случае динамика численности популяции определяется уравнением

Ф. И. Баранова:

$$N_t = N_0 e^{-Zt}$$

2. Численность пополнения в возрасте  $t_r$  обуславливается воздействием только естественной смертности  $M$ :

$$R = N_0 e^{-Mt_r}$$

Так как начальная численность поколения  $N_0$  неизвестна, в последующем все параметры модели выражаются в отношении численности пополнения  $R$ .

3. Численность рыб, вступающих в эксплуатацию, также будет определяться численностью пополнения  $R$  и скоростью гибели за счет естественных причин в период между возрастaми  $t_r$  и  $t_c$ . В результате в момент вступления в эксплуатируемое стадо, численность рыб составит:

$$R_{t_c} = R e^{-M(t_c - t_r)}$$

Возраст вступления в эксплуатацию (возраст первой поимки)  $t_c$  определяется шагом ячеи в орудии лова. Все рыбы старше возрастa  $t_c$  не могут пройти через ячею и полностью улавливаются.

4. Вступив в промысловую стадию жизни, рыба будет гибнуть не только под действием естественной ( $M$ ), но и в связи с влиянием промысловой смертности ( $F$ ). Тогда в любой момент времени после возрастa первой поимки  $t_c$  численности рыб будет определяться как

$$N_t = R_{t_c} e^{-(F+M)(t - t_c)}$$

Определим основные параметры эксплуатируемой популяции.

*Улов в поштучном выражении.* Величина улова в поштучном выражении будет равна произведению промысловой смертности на численность популяции в момент времени  $dt$ :

$$\frac{dY_N}{dt} = FN$$

Заменяя выражение численности уравнением Баранова

$$\frac{dY_N}{dt} = FR_{t_c} e^{-(F+M)(t-t_c)}$$

и интегрируя в пределах от  $t_c$  (с момента вступления особи в эксплуатируемое стадо) до  $t_k$  (предельного возрастa жизни рыбы)

$$\int_{t_c}^{t_k} dY_N = \int_{t_c}^{t_k} FR_{t_c} e^{-(F+M)(t-t_c)} dt$$

$$Y_N = FR_{t_c} \left. \frac{e^{-(F+M)(t-t_c)}}{F+M} \right|_{t_c}^{t_k}$$

получаем улов в поштучном выражении:

$$Y_N = FR_{t_c} \frac{1}{F+M} \left[ 1 - e^{-(F+M)(t_k-t_c)} \right]$$

Аналогичным образом определяются и все другие характеристики.

Улов в весовом выражении:

$$\frac{dY_W}{dt} = FB_t = FN_t W_t,$$

$$\int_{t_c}^{t_l} dY_W = \int_{t_c}^{t_l} FR_{t_c} e^{-(F+M)(t-t_c)} W_x \sum_{n=0}^{n=3} \Omega_n e^{-nK(t-t_c)} dt,$$

$$Y_W = FR_{t_c} W_x \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t-t_c)}}{F+M+nK} \left[ 1 - e^{-(F+M+nK)(t_l-t_c)} \right].$$

Средняя навеска рыбы в улове:

$$W_Y = \frac{Y_W}{Y_N}.$$

Среднегодовая численность популяции будет состоять из неэксплуатируемой части (в интервале возрастов  $t_r$  до  $t_c$ ) и облавливаемой (от  $t_c$  до  $t_l$ ):

$$B_N = R \frac{1}{M} \left[ 1 - e^{-(M)(t_l-t_r)} \right] + R_{t_r} \frac{1}{F+M} \left[ 1 - e^{-(F+M)(t_l-t_r)} \right].$$

Среднегодовая биомасса популяции также будет состоять из неэксплуатируемой части (от  $t_r$  до  $t_c$ ):

$$B_{W_{t_r-t_c}} = RW_{t_r} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t-t_r)}}{M+nK} \left[ 1 - e^{-(M+nK)(t_l-t_r)} \right]$$

и облавливаемой (от  $t_c$  до  $t_l$ )

$$B_{W_{t_c-t_l}} = R_{t_c} W_x \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t-t_c)}}{F+M+nK} \left[ 1 - e^{-(F+M+nK)(t_l-t_c)} \right].$$

В результате общая среднегодовая биомасса промыслового запаса составит:

$$B_W = RW_{t_r} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t-t_r)}}{M+nK} \left[ 1 - e^{-(M+nK)(t_l-t_r)} \right] +$$

$$+ R_{t_c} W_x \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t-t_c)}}{F+M+nK} \left[ 1 - e^{-(F+M+nK)(t_l-t_c)} \right].$$

Средняя навеска особи в популяции:

$$W_B = \frac{B_W}{B_N}.$$

Средний возраст особи в популяции:

$$T_B = \frac{\int_{t_r}^{t_l} t N_t dt}{\int_{t_r}^{t_l} N_t dt}.$$

$$T_B = \frac{\frac{1}{M} \left[ t_l e^{-(M)(t_l-t_r)} - \frac{1}{M} (1 - e^{-(M)(t_l-t_r)}) \right] + \frac{e^{-(M)(t_l-t_r)}}{(F+M)} \left[ t_l e^{-(F+M)(t_l-t_r)} + \frac{1}{(F+M)} (1 - e^{-(F+M)(t_l-t_r)}) \right]}{\frac{1}{M} (1 - e^{-(M)(t_l-t_r)}) + \frac{e^{-(M)(t_l-t_r)}}{(F+M)} (1 - e^{-(F+M)(t_l-t_r)})}$$

Средний возраст особи в улове:

$$T_Y = \frac{1}{F+M} + \frac{t_l - t_c e^{-(F+M)(t_l-t_c)}}{1 - e^{-(F+M)(t_l-t_c)}}.$$

Численность SSN и биомасса SSB нерестового стада зависят от соотношения между возрастом наступления половозрелости  $t_s$  и возрастом первой поимки  $t_c$ , которое будет определять численность поколения в момент наступления половозрелости. Возможны два варианта.

1. Если  $t_c \geq t_s$ , нерестовый запас будет состоять из двух частей — неэксплуатируемого стада между возрастными  $t_s$  и  $t_c$  и части эксплуатируемого запаса, ограниченного возрастными  $t_c$  и  $t_\lambda$ :

$$R_{t_c} = R e^{-M(t_c - t_s)}; R_{t_s} = R e^{-M(t_c - t_s)},$$

$$SSN = R_{t_s} \frac{(1 - e^{-M(t_c - t_s)})}{M} + R_{t_c} \frac{(1 - e^{-(F+M)(t_c - t_s)})}{F + M},$$

$$SSB = R_{t_s} W_\infty \sum_{n=0}^{n=\lambda} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_s)}}{M + nK} [1 - e^{-(M+nK)(t_c - t_s)}] +$$

$$+ R_{t_c} W_\infty \sum_{n=0}^{n=\lambda} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_s)}}{F + M + nK} [1 - e^{-(F+M+nK)(t_c - t_s)}].$$

2. Если  $t_c < t_s$ , то нерестовый запас будет представлять собой только часть эксплуатируемого запаса:

$$R_{t_c} = R e^{-M(t_c - t_s)}; R_{t_s} = R_{t_c} e^{-(F+M)(t_c - t_s)},$$

$$SSN = R_{t_c} \frac{(1 - e^{-(F+M)(t_c - t_s)})}{F + M},$$

$$SSB = R_{t_c} W_\infty \sum_{n=0}^{n=\lambda} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_s)}}{F + M + nK} [1 - e^{-(F+M+nK)(t_c - t_s)}].$$

*Продуктивность по икре*, или популяционная плодовитость,  $E$  будет определяться произведением относительной индивидуальной плодовитости  $E_w$  на биомассу нерестового запаса:

$$E = E_w SSB$$

На основании описанного подхода Р. Бивертон и С. Холт впервые проанализировали закономерности динамики эксплуатируемых популяций рыб и определили оптимальные параметры промысла. В частности, ими была показана взаимосвязь между двумя параметрами промысла — его интенсивностью и селективностью и предложена схема анализа популяционных параметров в виде изоплетных диаграммы.

*Преимущества модели Бивертон-Холта:*

- 1) применено более гибкое уравнение роста в виде функции Бергаланфи;
- 2) все популяционные параметры выражаются в виде одного уравнения, что позволяет получить аналитическое решение для выбора оптимального режима рыболовства;
- 3) в модели вводятся различия между возрастом пополнения  $t_f$  и возрастом первой поимки  $t_c$ , что позволяет проанализировать воздействие селективности на результаты промысла;
- 4) модель позволяет оценить отдаленные перспективы промысла и рассчитать биологически возможную величину улова (ОДУ).

*Недостатки модели Бивертон-Холта:*

- 1) используется кубическая зависимость длина-масса, которая характерна только для некоторых видов рыб;
- 2) коэффициент естественной смертности не зависит от возраста;
- 3) модель пригодна только для неселективного промысла;
- 4) уравнения динамики численности описывают стабильную популяцию, следовательно, модель Бивертон-Холта дает некоторое идеальное состояние популяции в условиях стабильности всех параметров внешней среды и промысла.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Теоретические подходы к регулированию рыболовства Р. Бивертон и С. Холта.
- 2) Математическое выражение основных параметров.
- 3) Преимущества и недостатки модели Бивертон-Холта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

### *Дополнительная*

1. **Аксютинa, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютинa - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
7. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.  
**Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №9

### МОДЕЛЬ РИККЕРА

У. Е. Рикер предложил более простой способ исследования динамики эксплуатируемой популяции. Если допустить, что в течение небольшого интервала времени каждый популяционный параметр изменяется с некоторой постоянной скоростью:

$$\frac{dy}{dt} = ky,$$

где  $k$  — скорость изменения параметра, тогда значение параметра в любой момент времени можно найти с помощью простого уравнения:

$$y = y_0 e^{kt}$$

Модель Рикера основывается на дискретном подходе к анализу динамики эксплуатируемой популяции. Вся популяция разбивается на отдельные возрастные группы или другие группировки, для которых можно принять за постоянную величину основные динамические характеристики — скорость весового роста ( $G_t$ ), естественную смертность ( $M_t$ ) и промысловую смертность ( $F_t$ ). Значения коэффициентов  $G_t$ ,  $M_t$ ,  $F_t$  для разных групп могут быть различны.

В этом случае изменение статических параметров популяции можно описать простыми уравнениями.

Численность:

$$\frac{dN}{dt} = -Z_t N,$$

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z_t}.$$

Индивидуальная масса особей:

$$\frac{dW}{dt} = GW,$$

$$W_{t+1} = W_t e^{G_t}.$$

Биомасса возрастной группы:

$$\frac{dB_{it}}{dt} = (G - Z) B_{it},$$

$$B_{it+1} = B_{it} e^{G_t - Z_t}.$$

Для всей популяции значение какого-либо параметра будет равно сумме дискретных значений, характерных для каждой возрастной группы.

Рассмотрим математическое выражение основных параметров эксплуатируемой популяции.

*Улов в поштучном выражении:*

а) для возрастной группы  $t$ :

$$Y_{Nt} = N_t \frac{F_t}{F_t + M_t} (1 - e^{-(F_t + M_t)});$$

б) для всей популяции:

$$Y_N = \sum_{t=t_1}^{t=t_2} Y_{Nt}$$

*Улов в весовом выражении:*

а) для возрастной группы  $t$ :

$$Y_{Wt} = N_t W_t \frac{F_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t - Z_t)} - 1)$$

б) для всей популяции:

$$Y_{Wt} = \sum_{t=t_1}^{t=t_2} Y_{Wt}$$

Среднегодовая численность популяции будет состоять из младшевозрастной неэксплуатируемой части в интервале возрастов от  $t_r$  до  $t_c$  и эксплуатируемой части для возрастов  $t_c$ - $t_\lambda$ :

а) при  $t_r \leq t < t_c$

$$B_{N_t} = N_t \frac{(1 - e^{-(M_t)})}{M_t};$$

б) при  $t_c \leq t < t_\lambda$

$$B_{N_t} = N_t \frac{(1 - e^{-(F_t + M_t)})}{F_t + M_t};$$

в) для всей популяции:

$$B_N = \sum_{t=t_r}^{t=t_c} B_{N_t} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} B_{N_t}$$

Среднегодовая биомасса популяции определяется аналогичным образом:

а) при  $t_r \leq t < t_c$

$$B_{W_t} = N_t W_t \frac{(e^{G_t - M_t} - 1)}{G_t - M_t};$$

б) при  $t_c \leq t < t_\lambda$

$$B_{W_t} = N_t W_t \frac{(e^{G_t - Z_t} - 1)}{G_t - Z_t};$$

в) для всей популяции:

$$B_W = \sum_{t=t_r}^{t=t_c} B_{W_t} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} B_{W_t}$$

Средняя навеска особи в улове:

$$W_Y = \frac{Y_W}{Y_N};$$

Средняя навеска особи в популяции:

$$W_B = \frac{B_W}{B_N};$$

Используя данный подход, можно определить и все остальные параметры, необходимые для анализа промысловой популяции.

Численность и биомассу нерестового запаса, популяционную плодовитость:

$$SSN = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} N_t;$$

$$SSB = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} N_t W_t;$$

$$E = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} N_t W_t E_{W_t};$$

Преимущества модели Рикера:

- 1) очень простое выражение параметров и формулы расчетов;
- 2) можно задавать любые переменные по возрастам значения естественной  $M$ , промысловой  $F$  смертностей и скорости весового роста  $G$ .

Недостатки:

- 1) сложная процедура вычисления и невозможность получения аналитического решения;
- 2) в варианте модели, предложенной Рикером, не учитывалось подразделение популяции на промысловую и непромысловую части, что обуславливало трудность исследования влияния селективности промысла на популяционные параметры.

Несмотря на указанные недостатки, модель Рикера является наиболее гибкой, а сложность вычисления в настоящее время не имеет существенного значения при использовании даже простейших компьютерных технологий.

#### *Различие моделей Бивертон—Холта и Рикера*

Все аналитические модели основываются на промысловых популяциях, имеющих стабильную возрастную структуру, которая определяется только фактором смертности. Таким образом, если численность пополнения в возрасте  $t_f$  равна  $R$ , то численность следующей возрастной группы может быть рассчитана с использованием уравнения Ф. И. Баранова:

$$N_{t+1} = R e^{-(F_t + M_t)}$$

а для всех последующих возрастных групп, вплоть до предельного возраста жизни рыбы в промысловой стадии соответственно

$$N_{t+1} = N_t e^{-(M_t + F_t)}$$

Таким образом, аналитические модели описывают как бы судьбу одного поколения, которое в момент вступления в промысловое стадо имело численность  $R$ , и эта численность в последующем снижалась под воздействием естественной смертности и вылова.

Такое положение может иметь место только для стабильной популяции. Если в данном году изменится интенсивность промысла, то аналитическая модель будет описывать состояние популяции не на следующий год, а через число лет, равное длине возрастного ряда, когда популяция придет в стабильное состояние. Причем в этот период ни промысловая смертность, ни другие параметры не должны изменяться. Таким образом, аналитические модели могут служить теоретической базой регулирования рыболовства, описывая его отдаленные перспективы.

Первоначально такой подход закладывался во все аналитические модели, однако в дальнейшем модель Рикера и ее аналоги начали использоваться не только для описания стабильной популяции, но и любой другой, исходя из фактического ее состояния в конкретном году. Действительно, приведенные выше уравнения

$$\frac{dN}{dt} = -Z_t N_t,$$

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z_t}.$$

$$\frac{dW}{dt} = GW_t,$$

$$W_{t+1} = W_t e^{G_t}.$$

можно записать в виде

$$N_{x+1, t+1} = N_{x,t} e^{-(M_{x,t} + F_{x,t})}$$

$$W_{x+1, t+1} = W_{x,t} e^{G_{x,t}}$$

где  $x$  — год наблюдения.

Тогда, зная начальное состояние популяции, можно спрогнозировать ее изменение к следующему году независимо от того находится она в стабильном состоянии или нет.

Модель Рикера позволяет рассчитать численность популяции и возможную величину улова в течение всего переходного периода, в то время как модель Бивертон—Холта дает значение улова только для начального (стабильного) и конечного (стабильного) состояния.

#### *Развитие аналитических моделей*

Основным недостатком аналитических моделей является значительное упрощение представления основных популяционных параметров, поэтому их развитие заключается в уточнении формального описания с помощью различных функций. К числу таких уточнений можно отнести следующие.

1. Представление связи масса-длина в виде аллометрической зависимости:

$$W = w_0 L^{w_1},$$

где степенной коэффициент  $w_1$ , отличается от 3.. Такое уравнение более точно описывает связь, но приводит к довольно сложному уравнению весового роста:

$$W_t = W_\infty \left[ 1 - e^{-K(t-t_0)} \right]^{1/w_1}.$$

Подставляя данное выражение в уравнение улова

$$\frac{dY_W}{dt} = FB_t = FN_t W_t$$

модели Бивертон-Холта, получаем зависимость, которая не интегрируется, и для нахождения величины улова используются методы приближенных вычислений (разложение в ряд).

2. Представление скорости весового роста  $G$ , как функции наличной численности (биомассы) популяции. Такой подход позволяют учесть эффект компенсации роста:

$$G_t = \frac{a}{1 + e^{(bB_t - 1)}}.$$

Однако оценка коэффициентов уравнения вызывает существенные затруднения.

3. Использование дифференцированного по возрастам коэффициента естественной смертности, например по методу Бивертон-Холта

$$M = m_0 + m_1 t$$

или применение сложной степенной зависимости

$$M = a + bt^x$$

Такая зависимость приводит к очень сложному уравнению улова, которое может решаться только численно.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Модель Рикера.
- 2) Различие моделей Бивертон-Холта и Рикера.
- 3) Развитие аналитических моделей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная

1. **Шибяев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибяев С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

#### Дополнительная

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.

## Лекция №10

### ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

Разработка принципов рационального использования популяций рыб должна основываться на изучении влияния промысла на динамику численности промыслового стада. С этой целью необходимо составить представление о характере изменений наиболее важных параметров системы «запас-промысел»:

- величина годового улова в поштучном выражении  $Y_N$  или  $C$  [экз., тыс. экз., экз. на единицу пополнения];
- величина годового улова в весовом  $Y_W$  или  $Y$  [кг, т., г на единицу пополнения г/R];
- величина улова, приходящаяся на единицу промыслового усилия  $Y_W/F$  или  $CPUE$  [кг, т. на усилие];
- средняя навеска рыбы в улове  $W_Y$  [г];
- средний возраст особи в улове  $T_Y$  [годы];
- средняя длина особи в улове  $L_Y$  [см];
- среднегодовая численность промысловой популяции  $B_N$  [экз., тыс. экз., экз. на единицу пополнения];
- среднегодовая биомасса промысловой популяции  $B_W$ , [кг, т., г на единицу пополнения г/R];
- средняя масса особи в популяции  $W_B$  [г];
- средний возраст особи в популяции  $T_B$  [годы];
- средняя длина особи в популяции  $L_B$  [см];
- численность нерестового запаса  $SSN$  [экз., тыс. экз., экз. на единицу пополнения];
- биомасса нерестового запаса  $SSB$  [кг, т, г на единицу пополнения г/R];
- популяционная плодовитость (продуктивность по икре)  $E$  [тыс. икринок].

(С точки зрения управления эксплуатируемыми запасами необходимо исследовать зависимость этих характеристик от собственных популяционных параметров и параметров промысла.

1. Собственные параметры популяции, такие, как темп роста, естественная смертность, индивидуальная плодовитость, а также половая структура, возраст и темп полового созревания оцениваются в результате стандартных ихтиологических исследований. Функционально они могут быть как постоянными для популяции в целом, так и изменяющимися в связи с возрастом рыб.

В численных примерах будут использоваться следующие значения популяционных параметров, использованные для расчетов по модели Бивертон-Холта.

Приблизительно эти значения соответствуют биологическим параметрам вида со средней продолжительностью жизни, например, такого важного промыслового вида в пресноводных водоемах, как лещ. Человек, как правило, не может существенно изменять биологические параметры популяций.

2. Промысел характеризуется двумя параметрами, на которые человек может активно воздействовать, задавая необходимые значения.

Первый параметр — промысловая смертность  $F$ , которая зависит от количества используемых судов и их мощности, числа орудий лова, рыбаков, т. е. определяет интенсивность лова. Как известно, между величиной интенсивности промысла и промысловой смертностью, определяющей скорость гибели рыб от промысла, существует прямая связь. Промысловая смертность может изменяться от нуля, когда промысел отсутствует до бесконечности при бесконечно большой интенсивности промысла, когда все рыбы, которые могут попасть под действие орудия лова, будут мгновенно выловлены.

Второй параметр — возраст начала эксплуатации (возраст первой поимки)  $t_c$ , в котором рыба впервые становится объектом промысла. Этот возраст определяется

соответствующими размерами ячеи и характеризует селективность промысла. Возраст первой поимки изменяется в пределах от возраста пополнения  $t_r$ , когда молодь впервые приходит в район промысла и может быть отловлена, до предельного возраста жизни рыбы  $t_k$ .

Все существующие методы регулирования рыболовства обычно сводятся к варьированию (ограничению или регламентированию) одного или обоих этих показателей. Поэтому наибольший интерес представляет проследить, как их изменение повлияет на результаты промысла и состояние запаса. Вместе с тем следует помнить, что динамика популяций определяется не только собственными биологическими параметрами и промыслом, но воздействием сложнейшего комплекса внешних экологических факторов — температуры воды и ее сезонной изменчивостью, соленостью, уровнем развития кормовой базы, наличием хищников, конкуренцией и т. п. Однако, если принимать во внимание влияние всех факторов в совокупности, то скорее всего уловить действие каждого отдельного фактора не удастся. Исходя из этого, для анализа закономерностей динамики эксплуатируемых популяций в промысловой ихтиологии принимаются следующие исходные положения.

1. Рассматривается идеальная популяция, в которой численность пополнения не зависит от численности родительского стада. Согласно кривым запас—пополнение такое положение действительно может иметь место в природных условиях в определенных пределах изменения численности запаса. Следовательно, если ограничить промысел некоторым пределом, например установив либо максимально допустимую величину улова (квоту), либо минимально допустимую численность запаса (МВАЛ), то внутри этой области можно как угодно изменять численность популяции, и это не приведет к ее «подрыву».

2. Промысел ведется отцеживающим орудием лова типа трала или невод, которое улавливает всех особей, достигших некоторой минимальной длины  $L_c$  или возраста  $t_c$ . Величины  $L_c$  и  $t_c$  определяются только минимальным шагом ячеи, применяемым в орудиях лова, и никак не связаны с длиной или возрастом наступления половозрелости рыбы  $t_s$ . В зависимости от биологических особенностей рыб, их индивидуальной плодовитости, с ложившейся организации промысла и его интенсивности возраст начала эксплуатации может быть как больше, так и меньше возраста созревания. Принимается, что в любом случае численность оставшихся (не выловленных) особей всегда будет достаточной для того, чтобы отложить необходимое количество икры и обеспечить нормальное воспроизводство. Например, в рыбоводных прудах численность маточного стада составляет, в соответствии со сложившимися нормативами, не более 10% от численности всего стада. Таким образом, 90% особей изымаются, не достигнув половой зрелости и не имея возможности отнереститься. Это никак не сказывается на стабильности популяции. В естественных условиях для проходных моноциклических лососевых видов возраст начала эксплуатации равен возрасту наступления половозрелости, но при этом интенсивность изъятия может достигать 50%. Варьирование возраста начала эксплуатации  $t_c$  путем изменения шага ячеи в орудиях лова позволяет достичь наибольшей эффективности промысла при одновременном сохранении воспроизводительной способности запаса.

3. В определенных пределах изменения численности запаса выше МВАЛ численность пополнения будет постоянной. В результате при любой интенсивности и селективности промысла через известное время, равное количеству возрастных групп в популяции, она приходит в стабильное состояние. В таком состоянии популяции будет существовать неограниченное время до тех пор, пока интенсивность или селективность промысла вновь не изменится. Если эти новые значения параметров рыболовства не приведут к снижению запаса ниже МВАЛ, то популяция придет в новое стабильное состояние.

Таким образом, общие закономерности динамики эксплуатируемой популяции могут быть описаны для зоны допустимых параметров промысла в виде удельных показателей,

не зависящих от численности пополнения. В промысловой ихтиологии принято эти зависимости обозначать как  $Y/R$ -функции, описывающие динамику какого-либо популяционного параметра, приходящегося на один экз. пополнения в связи с изменением параметров промысла  $F$  и  $t_c$ .

Общая форма кривой населения, которая в рассматриваемом нами случае (стабильная популяция) будет тождественна кривой выживания, имеет следующие особенности

- 1) В интервале возрастов от  $t=0$  до  $t_r$  численность рыб изменяется по закону, не известному для нас и не учитываемому в промысловых моделях.
- 2) Достигнув возраста  $t_r$  и имея численность  $R$ , рыбы вступают в промысловый запас, и в дальнейшем их численность уменьшается только под воздействием естественной смертности  $M$  до того момента, пока они достигнут возраста первой поимки  $t_c$ .
- 3) Достигнув возраста вступив в эксплуатируемое стадо с численностью  $R_{t_c}$ , рыбы начинают испытывать воздействие как естественной  $M$ , так и промысловой смертности  $F$ . Эта закономерность сохраняется вплоть до достижения рыбами предельного возраста жизни  $t_{\lambda}$ .

Таким образом, изменение режима рыболовства будет проявляться либо в перемещении положения линии  $t_c - R_{t_c}$  (при изменении шага ячеи в орудиях лова), либо в увеличении или уменьшении угла наклона  $\alpha_1$  кривой выживания для эксплуатируемого запаса. Как в том, так и в другом случае структура эксплуатируемой популяции будет претерпевать закономерные изменения, которые отразятся и на всех ее характеристиках.

#### *Влияние интенсивности промысла на популяционные характеристики*

Интенсивность промысла определяется количеством рыбаков, судов, орудий лова, количество которых в конечном итоге влияет на величину промысловой смертности. Учитывая это, ниже мы будем исследовать воздействие на популяцию промысловой смертности, подразумевая, что она известным образом связана с интенсивностью рыболовства.

#### *Улов в поштучном выражении $Y_N$*

Промысловая смертность определяет силу воздействия рыболовства на эксплуатируемое стадо. В общем случае улов возрастает от нуля (при отсутствии промысла) до некоторого максимального значения. Предел увеличения улова при бесконечном возрастании промысловой смертности  $F \rightarrow \infty$  равен численность рыб, вступающих в эксплуатируемое стадо  $R_{t_c}$  в возрасте  $t_c$ . То есть в этом случае все рыбы будут мгновенно выловлены в тот момент, когда они достигнут такого размера, что не смогут пройти через ячею. Дальнейшая интенсификация промысла не приведет к увеличению улова.

#### *Улов в весовом выражении $Y_w$*

Зависимость улова в весовом выражении  $Y_w$  от промысловой смертности имеет более сложную форму, т. к. в этом случае помимо фактора естественной смертности на результаты промысла оказывает существенное влияние и весовой рост особей.

Возможны два варианта кривых весового улова.

1. Для рыб с низкой естественной смертностью (приблизительно  $M < 0,3$  1/год) и достаточно высоким темпом весового роста кривая имеет куполообразную форму. Поскольку кривая проходит через начало координат, то при  $F = 0$  показатель возможного улова также равен нулю. По мере возрастания интенсивности промысла улов довольно быстро увеличивается до максимальной величины при определенном значении промысловой смертности, а затем снижается и стремится к некоторому предельному значению. При бесконечно большой интенсивности промысла, когда все рыбы будут вылавливаться немедленно по достижении ими возраста вступления в эксплуатацию  $t_c$ , этот предельных улов будет равен суммарному весу особей, становящихся объектом промысла  $R_{t_c} \cdot W_{t_c}$ .

Следует также помнить, что рассматриваемая кривая характеризует возможный стабильный улов и не отражает изменений его во времени, возникающих вследствие

изменений интенсивности промысла. Данная величина улова будет наблюдаться через количество лет  $t_\lambda - t_c$ , равное продолжительности жизни рыбы в промысловой стадии, если на протяжении этого периода интенсивность лова и численность пополнения будут постоянны.

Наличие точки перегиба на кривой свидетельствует о том, что для популяции существует некоторая оптимальная величина улова, на достижение которой можно ориентировать промысел. Величина  $MSY$  носит название максимального уравнившегося улова (*Maximum Sustainable Yield*), а интенсивность лова, при которой достигается эта величина, обозначается как  $F_{MSY}$

*Улов на единицу промыслового усилия CPUE*

Анализ зависимости улова в весовом выражении от промысловой смертности позволяет установить, что при постоянном увеличении интенсивности промысла, то есть возрастании количества рыбаков, судов, орудий лова, продолжительности промысла, суммарной мощности флота и т. п., скорость увеличения улова неуклонно снижается, что обуславливает и уменьшение улова на единицу промыслового усилия  $CPUE$  (*Catch per Unit Effort*)

Как правило, именно улов на усилие определяет эффективность ведения рыболовства. Несомненно, что имеется такое значение интенсивности промысла, за пределами которого затраты на добычу рыбы уже не будут окупаться ценой улова. В этом случае промысел автоматически прекратится из-за своей убыточности. Независимо от величины естественной смертности и характеристик роста точки перегиба на кривой улова на усилие не существует.

*Среднегодовая численность  $V_N$  и биомасса  $V_W$ , популяции*

Увеличение интенсивности промысла приводит к возрастанию величины общей смертности  $Z = M + F$  и угла наклона кривой населения

Общая закономерность заключается в следующем. В отсутствие промысла среднегодовая численность  $V_{NVIR}$ , и биомасса  $V_{WVIR}$  запаса характеризуют состояние девственной популяции. В результате интенсификации рыболовства все большая часть запаса изымается в виде улова, что приводит к снижению численности и биомассы популяции. При бесконечно большой интенсивности промысла численность и биомасса популяции будут стремиться к величине, характеризующей численность  $NFN$  и биомассу  $NFB$  неэксплуатируемого запаса, ограниченного возрастными  $t_r + t$ . В частном случае, когда особи начинают отлавливаться сразу после вступления в промысловое стадо  $t_r = t_c$ , величина общего запаса будет стремиться к нулю.

После достижения некоторой интенсивности промысла величина среднегодовой численности и биомассы запаса оказывается меньше объема вылова. Механизм этого явления объясняется тем, что промысел изымает прирост численности или биомассы популяции, формирующейся за счет: 1) вступления в запас пополнения и 2) весового роста особей и не дает рыбам погибнуть за счет естественных причин. В результате низкая величина запаса не может обеспечить достаточно высокую величину улова. В частном случае, когда возраст первой поимки равен возрасту пополнения  $t_c = t_r$ , пересечение кривых улова и запаса наблюдается при  $F = 1$ . Следует напомнить, что в данном случае рассматривается идеальная система, когда численность пополнения постоянна, т. е. не зависит от численности родительского стада. На самом деле, согласно моделям «запас—пополнение» такое может наблюдаться лишь в некотором интервале изменения величины запаса выше  $V_{lim}$ .

*Средняя длина, масса и возраст особи в популяции и улове*

Вследствие закономерного увеличения угла наклона кривой населения в результате интенсификации промысла наблюдается соответствующее снижение среднего возраста рыбы в популяции. Учитывая, что средняя длина и масса особи напрямую связаны со средним возрастом, закономерности изменения этих параметров будут сходны.

Общая закономерность изменения размерных показателей заключается в их снижении от максимальной величины, характерной для девственной популяции, до некоторого предела. Для популяции таким пределом при бесконечно большой интенсивности промысла будет средний возраст, средняя навеска и средняя длина особи в неэксплуатируемом стаде

Для улова предельными значениями будут длина  $L_c$  и масса  $W_{tc}$  особи в возрасте первой поимки  $t_c$ , т. е. при очень высокой интенсивности промысла все рыбы, достигшие возраста  $t_c$ , будут мгновенно выловлены и попадут в улов, который будет представлен только особями одной возрастной группы. Теоретически длина первой поимки должна соответствовать промысловой мере, установленной на рыбу правилами рыболовства.

В случае, если возраст вступления в эксплуатацию равен возрасту пополнения, кривые размерных характеристик для популяции и улова будут тождественны.

Следовательно, широко бытующее представление о том, что уменьшение размеров рыбы в улове (мельчание улова) является свидетельством перелова, не соответствует действительности. Снижение размерных показателей является закономерным следствием изменения структуры популяции под воздействием промысла, и никакими мерами регулирования избежать этого невозможно.

Общая закономерность уменьшения среднего возраста особи в популяции сохраняется независимо от величины естественной смертности, однако эффект воздействия промысла существенно различен. В популяциях долгоживущих рыб с низкой естественной смертностью даже незначительная интенсификация промысла ( $F= 0,2-0,4$ ) существенно изменяет структуру популяции — средний возраст снижается в два раза. В популяциях короткоциклового рыб даже сверхвысокая интенсивность лова приводит к снижению среднего возраста не более чем на 20%. Именно поэтому такого типа популяции, например снеток, ряпушка, могут «выдерживать» высокую промысловую нагрузку.

*Среднегодовая численность  $SSN$  и биомасса  $SSB$  нерестового стада*

Воздействие интенсификации промысла на величину нерестового запаса в целом заключается в ее снижении от максимального значения  $SSN_{VIR}$ ,  $SSB_{VIR}$ , характеризующего девственную популяцию в отсутствии промысла, до минимального. Величина минимума будет определяться соотношением между возрастными первой поимки и наступлением половозрелости. Возможны два варианта:

1) если эксплуатация запаса начинается до достижения возраста созревания  $t_c \leq t_s$ , то при бесконечной интенсивности промысла величина нерестового запаса стремится к нулю;

2) если возраст вступления в эксплуатацию больше возраста созревания  $t_c > t_s$ , то минимальная величина нерестового запаса будет равна численности или биомассе половозрелых особей в неэксплуатируемой части запаса  $SSN_{NFS}$ , и  $SSB_{NFS}$  в интервале возрастов  $t_s - t_c$ . Обычно величина нерестового запаса рассматривается как параметр, определяющий граничный ориентир управления промыслом. В качестве такого ориентира могут выступать:

- биомасса нерестового запаса, составляющая 50% (или некоторое другое значение) от аналогичной величины, характеризующей девственную популяцию  $SSB_{50\%}$ . Кривые  $SSB$  позволяют найти предельную интенсивность промысла  $F_{lim}$ , которую нельзя превышать для сохранения достаточного уровня воспроизводства;
- минимальная наблюдавшаяся за исторический период биомасса нерестового стада  $B_{Loss}$ .

С формальной точки зрения, первый показатель является более предпочтительным, т. к. позволяет оценить воздействие собственных популяционных характеристик на стабильность эксплуатируемой популяции.

*Продуктивность по икре (популяционная плодовитость)  $E$*

Закономерное воздействие промысла на численность и биомассу нерестового запаса влечет за собой и снижение популяционной плодовитости от максимальной величины,

соответствующей плодовитости девственной популяции  $E_{VIR}$ , до некоторого минимума в связи с минимально возможной биомассой нерестового стада

В простейшем случае, когда относительная индивидуальная плодовитость рыб  $E_w$  является некоторой константой, не зависящей от возраста и веса особи (а это характерно для очень большого количества видов), популяционная плодовитость может быть найдена из простого соотношения

$$E = E_w * SSB$$

Следовательно, кривая плодовитости будет параллельна кривой нерестового запаса, и результаты анализа — аналогичны. В частности, очень просто может быть найден граничный ориентир промысла  $F_{lim}$ , соответствующий, например, пятидесятипроцентному снижению плодовитости относительно девственной популяции  $E/E_{VIR}$ .

Другая форма зависимости относительной индивидуальной плодовитости от массы особи несколько усложнит форму кривой продуктивности по икре, но не изменит общей закономерности — снижения ее при интенсификации промысла.

Очень важным с точки зрения оптимизации рыболовства является следующий факт: рассмотренные закономерности свидетельствуют о том, что как величина нерестового стада, так и популяционная плодовитость, которые обуславливают уровень пополнения популяции молодью и её стабильность, зависят только от интенсивности рыболовства, но не от способа регулирования или используемых орудий лова. Следовательно, теоретически, если определена допустимая интенсивность рыболовства, метод достижения ее должен определяться уже не биологическим, а технико-экономическими факторами — доступными способами, районами и орудиями лова, рентабельностью промысла, удобством контроля.

#### *Влияние селективности промысла на популяционные характеристики*

Селективность промысла, показателем которой является возраст вступления в эксплуатацию (возраст первой поимки)  $t_c$ , может изменяться в зависимости от используемого размера ячеи  $a$  в орудиях лова. Учитывая, что между длиной рыбы и ее возрастом существует прямая связь, описываемая уравнением Бергаланфи

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

и шаг ячеи напрямую зависит от длины ловимой рыбы данного вида

$$a = bL,$$

селективность может быть выражена как возраст первой поимки  $t_c$ , промысловая мера на рыбу  $L_c$  или шаг ячеи  $a$ . Однако с точки зрения построения модели промысловой популяции в качестве характеристики селективности удобнее использовать возраст вступления в эксплуатацию  $t_c$ , т. к. он непосредственно присутствует во всех уравнениях. В последующем, учитывая эти соотношения, не представляет труда перейти к показателям длины или шага ячеи.

Изменения селективности, выраженные в тех или иных показателях, находят свое отражение в результатах промысла и биологических показателях эксплуатируемой популяции. В общем случае изменение возраста начала эксплуатации приводит к увеличению или уменьшению той доли популяции, которая подвергается облову. Следовательно, можно ожидать, что увеличение  $t_c$  будет способствовать уменьшению улова.

В действительности динамика параметров системы запас-промысел имеет более сложный характер по двум причинам:

1. В результате изменения шага ячеи в орудиях лова происходит дестабилизация популяции. Если численность пополнения и все другие параметры после этого остаются постоянными, то через определенное время ( $t_{\lambda} - t_c$ ) популяция приходит в новое стабильное состояние, которое будет характеризоваться уже другой формой кривой населения.

2. Увеличение шага ячеи приводит к снижению численности эксплуатируемого запаса, но при этом оказывается, что рыбы начинают отлавливаться в более старшем возрасте, когда они имеют большую индивидуальную массу. Результат этих двух противонаправленных процессов может быть совершенно различным в зависимости от соотношения между характерными для конкретной популяции показателями смертности и роста. Предсказать его заранее с помощью простых построений без исследования модели популяции невозможно.

Кроме того, при теоретическом анализе селективности рыболовства следует принять во внимание следующее. В силу сложившихся традиций, у биологов широко распространено мнение о том, что стабильное существование эксплуатируемой популяции рыбы может быть обеспечено только в том случае, когда каждая особь имеет возможность хотя бы один раз отнереститься. Данный тезис исходит из воззрений К. Бэра, который в середине XVIII века изучал причины упадка рыболовства в основных промысловых водоемах России. В то время, когда закономерности динамики эксплуатируемых популяций еще не были известны, такой подход, вероятно, был вполне оправдан. Современная теория рыболовства позволяет количественно оценить влияние промысла на стабильность популяции и определить его безопасные пределы как с точки зрения интенсивности, так и с учетом селективности. Несмотря на это, до сих пор в большинстве правил рыболовства селективность промысла регламентируется, по сути дела, на основе упомянутого догмата - промысловая мера на рыбу  $t_c$  соответствует длине и возрасту наступления массовой половозрелости  $t_s$ . Поэтому селективность промысла анализируется как некоторый параметр промысла вне связи с возрастом созревания рыбы. В этом случае селективность может изменяться в следующих пределах:

- минимальной величиной возраста первой поимки  $t_c$  является возраст пополнения  $t_r$ , когда рыба приходит в район промысла и может быть отловлена. До этого момента времени лов ее невозможен (разумеется, при сложившейся его организации);
- максимальная величина возраста вступления в эксплуатацию  $t_c$  соответствует предельному возрасту жизни рыбы  $t_l$ . Такая ситуация будет иметь место, если в орудиях лова поставить настолько крупную ячею, что в ней будут застревать только самые старые рыбы. Если шаг ячеи будет несколько больше, то особи любого размера, присутствующие в популяции, орудием лова улавливаться уже не будут вообще.

*Улов в поштучном выражении  $Y_N$*

Общая закономерность изменения величины улова в поштучном выражении  $Y_N$  от селективности промысла заключается в его уменьшении по мере увеличения шага ячеи в орудиях лова.

Максимум улова наблюдается в том случае, когда эксплуатация популяции начинается сразу по достижении особями возраста  $t_r$ , когда они вступают в промысловый запас и становятся доступны для промысла, т. е. возраст вступления в эксплуатацию равен возрасту пополнения  $t_c - t_r$ .

Минимум улова, близкий к нулю, имеет место в том случае, когда в орудиях лова используется настолько крупная ячея, что даже самые старые рыбы могут через нее проскакать, т. е. возраст вступления в эксплуатацию равен предельному возрасту жизни рыбы  $t_c - t_x$ . Причина снижения улова при увеличении шага ячеи в орудиях лова заключается в уменьшении за счет численности рыб, которые доживают до начала эксплуатации.

*Улов в весовом выражении  $Y_w$*

Улов в весовом выражении имеет более сложную зависимость от возраста начала эксплуатации, что связано с воздействием темпа весового роста особей. Начальное значение улова соответствует некоторой его величине при  $t_c - t_r$ , а предельной величиной улова в весовом выражении будет нулевое значение, когда  $t_c = t_x$ , т. е. ячея в орудиях лова будет настолько большая, что ни одна рыба, даже самая старая, не задерживается орудием.

Имеется два вида формы кривой улова между этими двумя крайними вариантами.

1) Для видов с низкой естественной смертностью ( $M$ ) и высоким темпом весового роста ( $G$ ) кривая имеет максимум при некоторой селективности промысла. Причина этого явления заключается в следующем:

- если промысел начинается слишком рано, с младших возрастных групп, то изымаются мелкие особи, которые могли бы еще набрать большую массу. В результате улов оказывается невысоким. Такое явление в промысловой ихтиологии носит название «перелов по росту»;

- если рыбе дать возможность дорасти до определенного возраста, когда она наберет определенную (оптимальную) массу, а темп весового роста закономерно снизится, то в этом случае увеличение возраста начала эксплуатации  $t_c$  будет способствовать возрастанию улова в весовом выражении. На кривой улова в весовом выражении появляется точка перегиба, соответствующая максимальному улову  $MSY$ , который может быть получен путем подбора оптимального шага ячеи и возраста вступления в эксплуатацию  $t^l_{MSY}$

- при слишком позднем начале эксплуатации, хотя рыбы и достигнут больших размеров, но численность их снизится под воздействием естественной смертности, и в результате улов будет невысоким.

2) Для видов с высокой естественной смертностью и невысоким темпом роста оказывается, что естественная убыль всегда превышает скорость прироста ихтиомассы. В результате увеличение шага ячеи в орудиях лова всегда будет сопровождаться падением улова в весовом выражении, и оптимальным окажется начало промысла с возраста пополнения  $t_r$ . Подобное характерно для мелких, короткоцикловых или моноциклических видов.

Максимум улова будет наблюдаться только при определенном соотношении между общей смертностью  $Z = F + M$  и темпом весового роста особей  $G$ . При большом значении смертности (которое может определяться как высокой естественной смертностью  $M$ , так и большой интенсивностью промысла  $F$ ) перегиб на кривой улова не будет наблюдаться. Это является следствием того, что в том интервале возрастов, который включает в себя промысловая часть популяции (от  $t_r$  до  $t_x$ ), темп увеличения ихтиомассы будет всегда ниже темпа ее убыли. Такое положение может быть обусловлено двумя причинами:

- либо интенсивность лова настолько высока, что при любом значении  $t_c$  популяция не успевает набрать ихтиомассу;

- либо естественная смертность в возрастных группах  $t_r$  ч-  $t_x$  очень высока и перегиб кривой лежит вне рассматриваемой области, приходится, например, на молодь до возраста пополнения.

Таким образом, для популяций первого типа возможно достижение максимального улова путем подбора соответствующей интенсивности и селективности промысла. Для популяций второго типа перегиб кривой может иметь место только при очень высокой интенсивности промысла и раннем начале эксплуатации (пока особи еще не погибли от естественных причин).

Выводы:

1. Оптимальная величина улова может быть получена путем подбора необходимой селективности промысла только с учетом характерной для каждой конкретной популяции естественной смертности  $M$  скорости весового роста  $G$ .

2. Применяющаяся в настоящее время система запрещения вылова рыбы до достижения ею возраста полового созревания, по сути дела, жесткое регламентирование  $t_c = t_s$ , не отвечает интересам оптимизации промысла, т. к. не учитывает соотношение фактической смертности и весового роста. Ниже будет показано, что такое управление рыболовством не всегда соответствует также интересам сохранения необходимого уровня воспроизводства запаса.

Попытка разрешить данное противоречие была предпринята П. В. Тюриным (1956), который предложил за оптимальный возраст начала эксплуатации принимать не возраст

наступления половозрелости  $t_s$ , а возраст «кульминации» ихтиомассы. Логика рассуждений состояла в том, что возраст, в котором наблюдается максимум ихтиомассы  $T_n$ , обычно близок к возрасту наступления половозрелости. Следовательно, эксплуатация возрастных групп, имеющих наибольшую ихтиомассу, обеспечит получение наибольшего улова и будет отвечать интересам сохранения воспроизводства.

Численный анализ, представленный на рис. 108, показывает, что связь между кривыми *Улов на единицу промыслового усилия CPUE*

Зависимость улова на усилие от возраста начала эксплуатации имеет весьма сложный характер. В самом общем случае увеличение размера ячеи приводит к относительному уменьшению той части популяции, которая подвергается эксплуатации, и, следовательно, должна привести (при прочих равных условиях, касающихся интенсивности рыболовства) к уменьшению улова. Вместе с тем зависимость улова в весовом выражении может иметь два варианта. Для популяций с высокой общей смертностью кривая *CPUE* имеет нисходящую вогнутую форму: максимум приходится на возраст начала эксплуатации, равный возрасту пополнения, а минимум — на предельный возраст жизни рыбы.

В популяциях с низкой смертностью (приблизительно  $M/ < 0,1$ ) и высоким темпом весового роста на кривой может быть отмечен максимум, хотя выражен он бывает довольно слабо. Заметим, что положение максимума на кривой *CPUE* не совпадает с положением *MSY* на кривой улова в весовом выражении  $Y_w$ . Таким образом, наибольшая экономическая эффективность промысла, с точки зрения получения объема улова на единицу затрат на промысел, имеет место не при максимальном улове.

*Среднегодовая численность  $B_N$  и биомасса  $B_w$  популяции*

Величина популяции, выражаемая через численности или биомассу, имеет прямую связь с селективностью промысла: увеличение возраста начала эксплуатации  $t_c$  приводит к уменьшению величины эксплуатируемого запаса *FSB* и, следовательно, способствует увеличению остающейся численности и биомассы эксплуатируемой популяции. Начальное значение численности (или биомассы) всегда будет минимально, т. к. в этом случае (при  $t_c = t_r$ ) эксплуатируемый запас будет равен промысловому запасу и облову подвергается наибольшая часть стада. Увеличение шага ячеи в орудиях лова приводит к постепенному увеличению запаса до предельного значения при возрасте первой поимки, равному предельному возрасту жизни рыбы  $t_c = t_x$ . В этом состоянии популяция практически не подвергается эксплуатации и приходит в девственное состояние, характеризующееся численностью  $B_N$  и биомассой  $B_{wr}$ . Напомним, что увеличение шага ячеи до максимального, соответствующего условию  $t_c = t_x$ , приведет к переходу популяции в девственное состояние только через число лет, равное разнице между предельным возрастом жизни рыбы и возрастом первой поимки, который имел место до изменения режима рыболовства.

*Средняя длина, масса и возраст особи в популяции и улове*

Увеличение возраста начала эксплуатации приводит к тому, что промыслом используются все более и более старые рыбы, что приводит к увеличению средней массы рыбы в улове. Предельной величиной средней навески особи в улове  $W_y$  будет индивидуальная масса последней возрастной группы  $t_x$ . При этом изменение средних размерных характеристик популяции имеет аналогичный характер, но увеличение показателей идет более быстро. В результате при возрасте начала эксплуатации, равном предельному, размерные характеристики становятся соответствующими аналогичным показателям девственной популяции. В том случае, когда эксплуатация начинается сразу с возраста пополнения ( $t_c = t_r$ ), все размерные характеристики популяции и улова будут равны друг другу.

*Среднегодовая численность  $SSNm$  биомасса  $SSB$  нерестового стада*

Динамика численности и биомассы нерестового запаса сходны закономерностями, описанными для численности и биомассы всей промысловой популяции: увеличение шага ячеи в орудиях лова приводит к возрастанию анализируемого показателя, который в

пределе стремится к соответствующей характеристике девственной популяции. Формы кривых численности и биомассы нерестового запаса несколько различаются тем, что последняя может иметь точку перегиба.

*Продуктивность по икре (популяционная плодовитость) E*

Изменение численности и биомассы половозрелой части популяции влечет за собой синхронное изменение популяционной плодовитости. При увеличении шага ячеи популяционная плодовитость возрастает от минимального значения, имеющего место при начале эксплуатации с возраста пополнения  $t_c$  —  $t_r$ , до максимальной, соответствующей плодовитости девственной популяции  $E_{vir}$ , в том случае, когда возраста первой поимки равен предельному возрасту жизни рыбы  $t_x$ .

Если относительная индивидуальная плодовитость не зависит от массы рыбы, то граничные ориентиры управления рыболовством, оцениваемые как по нерестовой биомассе  $SSB_{50\%}$ , так и по популяционной плодовитости  $E_{50\%}$  будет одинаковым. В случае, когда изменение плодовитости в связи с ростом рыбы носит нелинейный характер, эти оценки могут несколько различаться.

Таким образом, установив величину граничного ориентира промысла, можно оценить минимально допустимый возраст начала эксплуатации  $t_{lim}$ , а затем рассчитать промысловую меру на рыбу  $L_c$  и минимальный разрешенный шаг ячеи в орудиях лова  $a_{min}$ :

$$L_c = L_\infty [1 - e^{-K(t_c - t_0)}],$$

$$a_{min} = bL_c.$$

Учитывая, что положение кривой плодовитости зависит от сложившейся или регламентируемой интенсивности промысла  $F$ , промысловая мера и минимальный разрешенный шаг ячеи в орудиях лова может варьироваться в широких пределах для различных водоемов и лишь в некотором частном случае, при некоторой вполне определенной интенсивности промысла будет соответствовать возрасту наступления массовой половозрелости  $t_s$ .

Оценивая граничные ориентиры промысла, следует учитывать два важных момента.

- 1.Используемый здесь допустимый уровень снижения нерестового запаса или популяционной плодовитости, равный 50%, является достаточно условным. Для каждой конкретной популяции он должен быть своим, установленным исходя из изучения закономерностей динамики ее численности в конкретных условиях.
- 2.Нельзя механистически оценивать допустимый уровень изъятия как разницу между граничной биомассой запаса и биомассой девственной популяции:

$$Y_{Wopt} = B_{Wvir} - B_{Wlim}$$

что делается довольно часто. В этом случае предполагают, что если выловить излишнюю часть биомассы запаса, остаток будет равен минимально допустимой биомассе, способной обеспечить необходимый уровень воспроизводства. На самом деле соотношение между этими величинами определяется описанными выше достаточно сложными уравнениями и не подчиняется простой линейной закономерности.

*Совместное влияние интенсивности и селективности промысла*

Рассмотренные особенности воздействия параметров промысла на популяционные характеристики и результаты рыболовства позволяют выявить одну важную закономерность: эффект влияния изменений промысловой смертности, с одной стороны, и возраст начала эксплуатации, с другой, носят противонаправленный характер: увеличение интенсивности промысла  $F$  приводит к возрастанию улова и уменьшению численности популяции, а увеличение возраста начала эксплуатации  $t_c$ , наоборот, к уменьшению улова и увеличению численности популяции.

Эту закономерность можно представить графически следующим образом (рис. 115): уменьшение численности каждой возрастной группы происходит закономерно под воздействием естественной и промысловой смертности, а величина улова определяется как некоторая часть общей численности или на графике - площадь трапеции,

ограниченной возрастами  $f_c \approx t_x$ , высота трапеции может интерпретироваться как интенсивность промысла.

При заданной интенсивности промысла  $F$  чем больше значение  $t_c$ , тем меньше будет величина улова. И наоборот, при заданном значении  $t_c$  чем больше высота трапеции (промысловая смертность  $F$ ), тем больше будет и улов. Нетрудно заметить, что на графике можно подобрать такие значения  $F$ , при которых для заданных параметров селективности промысла (например,  $t_c = 3$  и  $t_c = 5$ ) будут равны площади трапеций, а следовательно, равны и величины уловов. Аналогичным образом могут быть рассмотрены и другие параметры эксплуатируемой популяции.

Общее правило: существуют такие пары значений промысловой смертности  $F$  и возраста вступления в эксплуатацию  $t_c$ , для которых параметры популяции, например величины уловов, будут равны. При увеличении возраста  $t_c$  для сохранения величины улова необходимо соответствующим образом увеличить  $F$ , и наоборот.

Вывод: разработка путей рационального ведения рыболовства должна заключаться в рассмотрении совместного влияния обоих параметров промысла интенсивности  $F$  и селективности  $t_c$  на популяционные характеристики.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Влияние интенсивности промысла на популяционные характеристики.
- 2) Влияние селективности промысла на популяционные характеристики.
- 3) Совместное влияние интенсивности и селективности промысла.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шибаетов, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибаетов С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

#### *Дополнительная*

1. **Аксюткина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксюткина - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.

## КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕЛОВА

### *Концепция Гейнке (1913)*

На протяжении длительного времени в промысловой ихтиологии господствовали представления немецкого ихтиолога Гейнке о сущности перелова. Согласно концепции Гейнке перелов — состояние популяции, вызываемое слишком интенсивным выловом и имеющее следующие проявления:

- 1) постоянное уменьшение улова данного вида рыбы при постоянной или возрастающей интенсивности рыболовства;
- 2) снижение средней длины и навески рыбы в улове (мельчание улова)
- 3) постоянное возрастание относительного количества мелких, молодых рыб по сравнению с числом крупных и старых.

Эти положения были сформулированы в начале XX века еще до того, как были выяснены общие закономерности динамики популяций, но до настоящего времени они имеют среди ихтиологов широкое применение, хотя их несостоятельность была убедительно показана Ф. И. Барановым.

### Критика концепции Гейнке

1. Согласно рассмотренным в предыдущих главах закономерностям динамики эксплуатируемых популяций рыб, если пополнение промыслового стада остается постоянным из года в год, то при заданной величине промысловой смертности через определенное время происходит стабилизация улова, который теоретически может существовать неограниченное время. В случае же увеличения интенсивности лова улов также возрастает (или реже снижается в зависимости от соотношения между естественной смертностью и скоростью роста), но через известный период опять стабилизируется.

2. Изменение (уменьшение) средней длины является закономерным процессом и связано с изменением возрастной структуры популяции при увеличении смертности, но не всегда с переловом. При начале и развитии промысла всегда будет наблюдаться уменьшение средних размерно-весовых показателей рыб в улове, и избежать этого никакими мерами регулирования невозможно.

Действительный перелов будет проявляться не в омоложении, а, наоборот, в старении популяции, когда интенсивный промысел приведет к снижению воспроизводительной способности стада и уменьшению количества появляющегося потомства.

Таким образом, концепция перелова Гейнке не дает адекватного представления об этом явлении и не может использоваться как противоречащая современным представлениям о закономерностях динамики популяций промысловых рыб.

### *Абстрактный подход Ф. И. Баранова (1914)*

Как отмечал Ф. И. Баранов в своей работе «К вопросу о перелове» (1914), одной из самых избитых тем в ихтиологии является истощение рыбных богатств, уменьшение величины ловимой рыбы и падение уловов, но совершенно не затрагивается вопрос о том, каково же должно быть нормальное состояние промысла и мыслимо ли при его существовании сохранить запасы рыб в первозданном, первобытном состоянии. Баранов применил весьма оригинальный подход к формированию представлений о динамике рыбных запасов, проведя аналогию с лесным хозяйством.

Ф. И. Баранов считал, что перелов представляет собой в большей степени экономическую категорию, т. к. падение экономической эффективности промысла наступает гораздо раньше, чем биологический «подрыв» популяции. Предотвращение перелова может быть обеспечено путем выбора оптимальных технических параметров промысла.

### *Современное понимание перелова.*

Приведенные две крайние точки зрения на понимание сущности явления перелова свидетельствуют о том, что это понятия является комплексным и должно анализировать не отдельные параметры, а систему запас—промысел как целостность.

В современном понимании *перелов* — это ненормальное состояние системы запас-промысел.

Исходя из этого определения, может быть предложена следующая классификация переловов (рис. 7). Выделяются экономический и биологический переловы, каждый из которых, в свою очередь, подразделяется на более мелкие градации. Различия между видами переловов зависят от тех параметров, которые принимаются к рассмотрению — либо какие-либо технические или экономические показатели, либо состояние эксплуатируемой популяции. Различные виды переловов могут как быть связаны друг с другом, так и существовать независимо.



Рис. 7. Классификация переловов

#### Экономический перелов.

Экономический перелов имеет место тогда, когда система ведения рыболовства, т. е. его параметры, не соответствует интересам получения экономической выгоды от промысла. Экономический перелов рассматривается с двух позиций: как перелов, обусловленный слишком высокой интенсивностью промысла, и как перелов, связанный с неоптимальным сочетанием интенсивности и селективности промысла.

#### Биологический перелов $OVF(B)$

##### Перелов по росту {growth overfishing} $OVF(G)$

Перелов по росту имеет место в том случае, когда из-за слишком большого изъятия части популяции, состоящей из молодых активно растущих рыб, либо из-за слишком низкого возраста начала эксплуатации снижается возможность увеличения продуктивности стада за счет прироста рыб. В результате величина улова оказывается меньше, чем потенциально могла бы обеспечить популяция, исходя из ее биологических параметров.

Перелов по росту по сочетанию параметров промысла соответствует положению какометрического перелова на изоплетной диаграмме (рис.8). Он не имеет отрицательных последствий для популяции, а в большей степени характеризует ее продуктивность

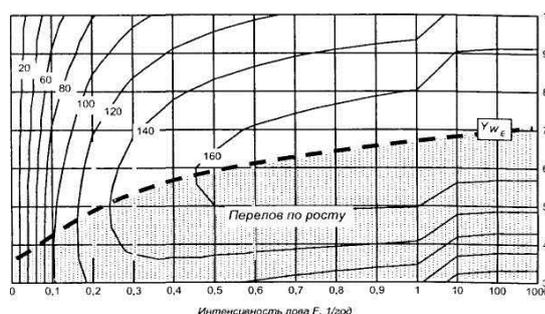


Рис. 8. Перелов по росту  $OVF(G)$

## Вопросы для самоконтроля

- 1) Современное понимание перелова.
- 2) Абстрактный подход Ф. И. Баранова (1914) .
- 3) Концепция Гейнке (1913).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.

## ОПТИМАЛЬНЫЙ УЛОВ

Всякий промысел заинтересован в получении наибольшего эффекта от эксплуатации продукционных свойств популяции рыбы.

В настоящее время применяются различные подходы к определению критерия оптимальности промысла, которые используют те или иные стороны взаимодействия параметров рыболовства с эксплуатируемым запасом. Наиболее широкое применение имеют три критерия — максимальный улов  $MSY$ , максимальный экономический улов  $MEY$  и оптимальный улов.

*Максимальный улов  $MSY$ .*

Исторически первой была сформулирована концепция максимального улова которая использует два следующих понятия.

**Уравновешенный улов ( $Y_s$ )** — улов, равный чистой годовой продукции популяции (запаса) при условии межгодового постоянства факторов среды и интенсивности промысла.

**Максимальный улов ( $MSY$ )**

- улов, соответствующий максимальной продуктивности популяции;
- наибольший улов, который теоретически можно получить от данной популяции (запаса).

На практике понятие максимального улова может использоваться в двух вариантах:

$MSY_{Y/R}$  — максимальный улов, определяемый по аналитической модели как улов, приходящийся на единицу пополнения

$V_w/R$ .

Этот показатель характеризует некоторый теоретический максимум улова, который может быть получен от популяции в долгосрочной перспективе после того, как она придет в стабильное состояние, соответствующее оптимальной интенсивности промысла  $F_{msy,y,r}$ . Предполагается, что популяция способна обеспечивать получение данной величины улова в течение неограниченного времени при условии стабильности численности пополнения.

$MSY_p$  — максимальный улов, определяемый по продукционной модели — характеризует максимальный улов, который был фактически достигнут в процессе эксплуатации популяции при некоторой интенсивности рыболовства  $F_{MSY}$ . Тот факт, что этот максимальный улов в условиях реального промысла не привел к нарушению стабильности популяции, может служить доказательством экологической безопасности.

Численные значения этих показателей заведомо различны ввиду разных способов расчета и используемой исходной информации.

Концепция максимального улова исходила из закономерностей динамики популяции, описываемых S-образной кривой роста Йорга. Согласно этой кривой продукция популяции зависит от биомассы стада и будет максимальной в точке перегиба кривой роста популяции. Промысел должен стремиться к получению улова равного максимальной величине продукции. В этом случае он характеризуется наибольшей эффективностью и в то же время не нарушает стабильность популяции, т. к. изымается только ее чистый прирост. С целью достижения такого оптимального состояния необходимо:

- 1) изъять лишнюю численность популяции, т. к. в девственном состоянии биомасса популяции приблизительно соответствует емкости среды.  $V_{VIR} = B_{\infty}$

2) удерживать величину популяции на постоянном уровне  $B_{\infty} / 2$ , соответствующем максимальной величине продукции, ежегодно изымая в виде улова прирост популяции, равный этой максимальной продукции.

Казалось бы, изложенная схема является вполне логичной и может ж пользоваться в качестве критерия регулирования рыболовства. Вместе с тем ближайшее рассмотрение концепции максимального уравнивающего улова применительно, в частности, к популяциям рыб показывает ряд противоречий.

1. Интерпретация понятия «уравновешенный». Согласно формальной теории жизни рыб Ф. И. Баранова, а также воззрениям на динамику популяции Р. Рассела, каждая популяция всегда стремится к состоянию равновесия. Любой внешний фактор (например, промысел) оказывается дестабилизирующим воздействием на популяцию (например, увеличивается общая смертность), но в любом случае, если в последующем воздействие фактора будет постоянным, то через известное время популяция опять стабилизируется, хотя уже на другом уровне. Условиями стабилизации популяции являются постоянство пополнения и неизменность смертности на протяжении периода времени, равного длине возрастного ряда. Таким образом, независимо от соотношения между величиной улова и естественным приростом популяции (продукцией) она все равно будет стабильной, а улов всегда будет уравнивающим.

2. Интерпретация понятия «максимальный». Согласно концепции максимального уравнивающего улова существует только одна точка максимальной продуктивности популяции, к достижению которой должен стремиться промысел. Для достижения этой точки необходимо каким-то образом снизить численность (например, промыслом) до оптимальной.

В действительности же такой подход возможен только для популяции простейших, но оказывается неприемлем для рыб или других организмов.

3. Концепция *MSY* анализирует только продуктивность популяции, но не принимает во внимание связь запас—пополнение. Вероятно, стремление к достижению максимальной продуктивности потребует значительной интенсивности промысла, что может привести к перелому по пополнению.

4. Стремление к достижению *MSY* может не отвечать интересам экономической целесообразности, т. к. слишком высокая интенсивность промысла может привести к возникновению различных видов экономического перелома.

Таким образом, концепция максимального уравнивающего улова не может служить критерием оптимальности промысла без вовлечения и рассмотрение других критериев.

#### *Максимальный экономический улов MEY*

Неудовлетворительное решение проблемы с использованием концепции максимального уравнивающего улова и в особенности ее неадекватность в вопросах экономической целесообразности промысла привели к появлению новых подходов и критериев оптимальности рыболовства.

**Максимальный экономический улов (MEY)** — уравнивающий улов, обеспечивающий наибольшую прибыль от промысла при условии постоянства закупочных цен и стоимости единицы промыслового усилия.

С целью оценки величины максимального экономического улова необходимо сравнить в сопоставимых единицах (например, в денежном выражении) величину уравнивающего улова ( $Y_w$ ), который зависит от интенсивности промысла, с затратами, необходимыми для его добычи ( $CF$ ). Очевидно, что увеличение затрат на добычу идет прямо пропорционально его интенсивности (увеличение в два раза площади, облавливаемой судами за год, потребует приблизительно двукратного увеличения количества судов), зато увеличение улова при этом идет замедленно и при высокой интенсивности промысла вообще прекращается. Причем для различных популяций в зависимости от их биологических параметров наибольшая прибыль от промысла  $PF$  - разница между затратами и стоимостью улова будет приходиться на различную величину интенсивности,

но в любом случае эта интенсивность  $F_{meu}$  окажется меньше, чем интенсивность, соответствующая максимальному улову  $F_{msu}$ .

Учитывая, что в зависимости от селективности промысла кривая улова может иметь различную форму, величина интенсивности, соответствующая максимальному экономическому улову, также будет принимать несколько значений. Таким образом, об экономическом улове, как критерии оптимальности промысла, можно говорить только для заданного, вполне определенного возраста первой поимки  $t_c$ . Он, например, может регламентироваться действующими правилами рыболовства путем установления промысловой меры на рыбу или минимального разрешенного шага ячеи в орудиях лова.

#### *Оптимальный улов $Y_{Wopt}$*

В связи с тем, что понятие оптимального улова должно одновременно учитывать несколько биологических и экономических критериев, предложено следующее наиболее общее определение: **оптимальный улов** — это улов, отвечающий выбранным критериям оптимальности.

Таковыми оптимальными критериями могут выступать:

- обеспечение нормального воспроизводства эксплуатируемой популяции, т. е. сохранение численности запаса большей, чем величины  $B_{lim}$ ;
- получение максимальной величины улова  $Y_{wmax}$
- получение наибольшего экономически целесообразного улова (обеспечивающего наибольшую рентабельность промысла и продукцию необходимого товарного качества — размера рыбы, который будет иметь спрос на рынке)  $MEY$ ;
- учет социальных факторов (например, независимо от задач охраны запасов промысел разрешается малым народам Севера, для обеспечения рабочих мест и т. д.);
- обеспечение устойчивого рыболовства  $Y_s$ .

В большинстве случаев указанные задачи решаются совместно, и под **оптимальным уловом** понимается наибольший экономически целесообразный улов определенного товарного качества, изъятие которого из популяции не приводит к нарушению ее воспроизводительной способности.

Достижение оптимального улова связано с нормированием хозяйственной деятельности таким образом, чтобы обеспечить функционирование системы запас—промысел на уровне, соответствующем интересам человека.

В результате интенсификации промысла происходит закономерное снижение величины популяции от максимальной, соответствующем девственному состоянию  $B_{vir}$ , до минимальной  $f_{im}$ , которая определяется минимальным биологически допустимым состоянием запаса  $MBAL$ . Увеличение интенсивности промысла выше этого предела  $F_{n,,}$ , влечет за собой перелов по пополнению и снижение величины запаса ниже допустимого. Дальнейшая судьба популяции определяется сложившимися биоценотическими взаимоотношениями в экосистеме: популяция либо гибнет, либо переходит в депрессивное состояние, соответствующее экосистемному перелову. Выход из него не всегда возможен.

В интервале интенсивности промысла между этими крайними положениями существует несколько промежуточных состояний системы запас—промысел, которые характеризуются большей или меньшей экономической эффективностью рыболовства и тем или иным видом обратимого экономического или биологического перелова. После достижения улова некоторой предельной величины  $Y_w$  промысел становится экономически убыточным.

#### *«Формальная» схема оценки оптимального улова*

Оценка оптимального улова включает в себя следующие этапы:

- 1) определение минимальной численности популяции;
- 2) оценка «критических» значений параметров промысла;
- 3) определение области допустимых параметров промысла;
- 4) оценка оптимальных параметров промысла;

- 5) выбор величины оптимального улова;  
 б) разработка мер регулирования рыболовства.

*Оценка минимальной численности популяции  $B_{lim}$*

Одной из наиболее сложных проблем промысловой ихтиологии является оценка граничных ориентиров управления рыболовством. С биологической точки зрения она заключается в установлении некоторой минимальной величины запаса  $B_{lim}$ , которая обеспечивает достаточный уровень воспроизводства. Теоретически эта величина может быть легко найдена на основании двух соотношений: 1) зависимости биомассы популяции  $B_w$  от интенсивности промысла  $F$  и 2) зависимости численности пополнения  $R$  от численности  $N$ , биомассы  $B_w$  популяции, нерестового запаса  $SSN$ ,  $SSB$  или популяционной плодовитости  $E$ . Обе эти зависимости описываются несложными аналитическими моделями Бивертон—Холта и Рикера с их многочисленными модификациями. Например, в модели Бивертон—Холта они имеют вид:

$$B_w = RW_\infty \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_s - t_0)}}{M + nK} \left[ 1 - e^{-(M+nK)(t_s - t_0)} \right] +$$

$$+ Re^{-M(t_s - t_0)} W_\infty \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_s - t_0)}}{F + M + nK} \left[ 1 - e^{-(F+M+nK)(t_s - t_0)} \right],$$

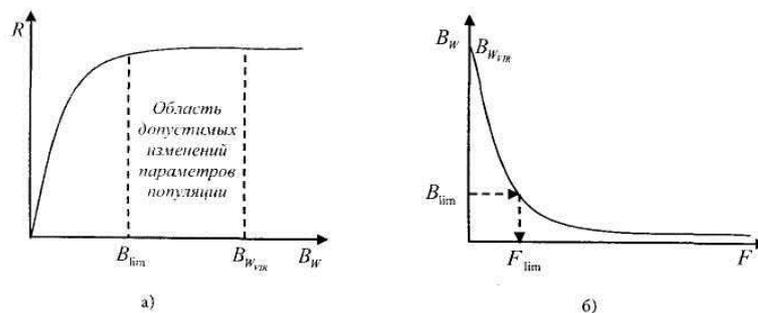
401

$$R = \frac{1}{a + \frac{b}{E}}.$$

402

Для простоты в дальнейшем оценка оптимального улова будет строиться на основе этой простейшей модели, хотя на практике могут использоваться любые другие более сложные уравнения.

Схема оценки минимальной величины запаса может быть описана следующим образом. В условиях отсутствия промысла запас имеет максимальное значение, соответствующее величине биомассы девственной популяции  $B_{w\ vir}$ . Промысел приводит к закономерному снижению биомассы таким образом, что после достижения некоторой интенсивности  $F_{lim}$  запас приходит в состояние  $B_{lim}$ , при котором уже не может обеспечить достаточный уровень воспроизводства (рис. 9). Следовательно рациональный промысел не должен превышать порога интенсивности, равного  $F_{lim}$ .



*Рис. 9. Соотношение между популяционными параметрами, необходимыми для оценки минимальной величины запаса: а) кривая «запас—пополнение», б) кривая биомассы запаса*

Граничный ориентир  $B_{lim}$  может быть выражен как в численности популяции  $B_{Nlim}$ ,  $SSN_{lim}$ , так и в биомассе  $B_{wlim}$ ,  $SSB_{lim}$ , однако применение весовых единиц представляется более оправданным. В частности, если принять, что относительная индивидуальная плодовитость рыб  $E_w$  (количество икринок, приходящее на 1 грамм веса особи) не зависит от возраста (что характерно для очень многих популяций рыб), величина минимально

необходимой популяционной плодовитости будет прямо пропорциональна биомассе нерестового запаса  $SSB$  :

$$E = E_{\text{нр}} \cdot SSB_{\text{лнм}}$$

Проблема состоит в том, что если в уравнении все параметры имеют ясный биологический смысл и достаточно просто оцениваются с помощью стандартных методик рыбохозяйственных исследований, то параметры уравнения известны для очень небольшого числа популяций, а сама зависимость на практике имеет ограниченное применение.

В связи с этим в руководствах по преосторожному подходу к рыболовству, которые используются в настоящее время, рекомендуются достаточно условные граничные ориентиры. Наиболее широкое применение имеют два:

$B_{\text{LOSS}}$ — наименьшее наблюдаемое значение нерестовой биомассы;

$SSB_{50\%}$ — биомасса нерестового запаса, при которой пополнение составляет половину максимального теоретически возможного значения.

Понятно, что первый показатель отнюдь не характеризует воспроизводительный потенциал запаса, а отражает лишь некоторую исторически достигнутую наибольшую способность к восстановлению. Определить его можно, только имея длительный ряд наблюдений за популяцией, причем в период наблюдения биомасса запаса должна существенно изменяться.

Второй показатель зависит от биологических параметров запаса, параметров промысла и может быть сравнительно легко рассчитан. Единственной величиной, которая является неизвестной, — это допустимый процент снижения нерестовой биомассы. Можно предположить, что в связи с высокой плодовитостью рыб, которая колеблется от нескольких сотен до нескольких миллионов икринок на одну самку, 50% снижение популяционной плодовитости не окажет отрицательного влияния на уровень пополнения. Поэтому в реальных условиях может быть вполне допустимо более существенное снижение величины нерестового запаса, что, однако, должно быть подтверждено натурными наблюдениями.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Максимальный уравновешенный улов  $MSY$ .
- 2) Максимальный экономический улов  $MEY$
- 3) Оптимальный улов  $Y_{\text{опт}}$
- 4) «Формальная» схема оценки оптимального улова
- 5) Оценка минимальной численности популяции  $B_{\text{лнм}}$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

#### *Дополнительная*

1. **Аксютин, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
3. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому

- снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
4. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
  5. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
  6. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫБОЛОВСТВА. ЛИМИТИРОВАНИЕ УЛОВОВ

### *Регулирование рыболовства.*

Обеспечение рационального рыболовства невозможно без применения соответствующих мер регулирования, направленных на поддержания системы запас— промысел на некотором оптимальном уровне. Теоретически, оптимальное состояние может быть легко достигнуто путем регламентирования величины интенсивности лова и соответствующего ей возраста первой поимки. Обе эти промысловые характеристики могут изменяться человеком, но определяются они биологическими параметрами эксплуатируемой популяции. Вместе с тем, история развития методов регулирования рыболовства свидетельствует о том, что выбор мер регулирования был не всегда однозначен, базировался на различных теоретических представлениях, зачастую противоречащих друг другу. Кроме того, реализация на практике различных теоретических подходов во многих случаях наталкивалась на технические, материальные, биологические ограничения, а также сложность контроля. В результате, к настоящему времени сформировался набор основных мер регулирования, которые учитывают различных аспекты управления рыболовством и, в зависимости от конкретной ситуации, имеют различный приоритет.

Здесь необходимо разграничить несколько понятий, так или иначе связанных с обеспечением рационального использования водных биоресурсов.

**Рыболовная политика** — система мер, которыми государство или группа государств обеспечивает достижение определенных целей в рыболовном секторе путем воздействия на пользователей водных биологических ресурсов и контроля за их деятельностью. Эти меры могут быть фискальными (установление платы за использование ресурсов, субсидий, инвестиций), рыночными (квотирование импорта и экспорта), социальными (образование и охрана труда), регуляторными (квотирование уловов, нормирование качества продукции) и другими.

**Регулирование рыболовства** — система мер, устанавливающих порядок изъятия определенной доли промыслового запаса в виде улова таким образом, чтобы обеспечить получение оптимального улова. Предполагается, что в понятии «оптимальный улов» автоматически учтены интересы экономики и биологической безопасности.

На международном уровне понятие «рыболовная политика» является наиболее общим и служит основой для выработки частных решений по принятию тех или иных мер управления промыслом. Например, существует общая рыболовная политика (*Common Fisheries Policy — CFP*), которая реализуется всеми странами ЕС. Эта политика четко сформулирована в соответствующих документах. Регулирование (управление) рыболовством рассматривается как один из аспектов реализации политики, находящийся в неразрывной связи со всеми другими. В России понятие «рыболовная политика» в настоящее время находится на стадии формирования.

Промысловая ихтиология традиционно оперирует термином «регулирование рыболовства», рассматривая биологические и технические аспекты промысла. Вместе с тем, в последнее время все большее признание приобретают и другие механизмы управления. Например, введение такой далекой от собственно рыболовства рыночной меры, как дотирование части затрат на топливо, приводит к расширению масштабов промысла и возрастанию промыслового усилия.

### *Лимитирование уловов.*

В настоящее время лимитирование уловов осуществляется с использованием трех показателей, общий допустимый улов, квота, доля.

1.Общий допустимый улов (ОДУ, *Total Allowable Catch-TAC*) - научно-обоснованная величина годовой добычи (вылова) водных биоресурсов конкретных видов в

рыбохозяйственном бассейне или районе промысла. ОДУ определяется исходя из текущего и прогнозируемого состояния запаса.

2. Квота добычи (вылова) водных биоресурсов - часть общего допустимого улова водных биоресурсов, которая выделяется в целях осуществления определенного вида рыболовства.

Выделяются следующие виды рыболовства и соответствующие виды квот:

- 1) промышленное рыболовство, в том числе прибрежное рыболовство;
- 2) рыболовство в научно-исследовательских и контрольных целях;
- 3) рыболовство в учебных и культурно-просветительских целях;
- 4) рыболовство в целях рыбоводства, воспроизводства и акклиматизации водных биоресурсов;
- 5) любительское и спортивное рыболовство;
- 6) рыболовство в целях обеспечения ведения традиционного образа жизни и осуществления традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации.

3. Доля в общем объеме квот добычи (вылова) водных биоресурсов для осуществления промышленного рыболовства — часть общего объема квот добычи (вылова) водных биоресурсов для осуществления промышленного рыболовства. Доля призвана обеспечить определенную стабильность рыболовства. Она определяется как средний за последние пять лет процент улова каждого пользователя по отношению к общему улову и закрепляется за пользователем водных биоресурсов на следующие пять лет. В результате, как бы не изменялась величина ОДУ и квоты в связи с естественной флюктуацией запаса, пользователь всегда будет обеспечен определенной долей общей квоты.

*Регламентирование типов судов.*

Дополнительной мерой ограничения интенсивности промысла на оптимальном уровне является регламентирование типов используемых судов. Например, с целью обеспечения стабильного прибрежного рыболовства может запрещаться использование на промысле судов, оборудованных морозильными камерами. Это приводит к тому, что рыбаки должны ежедневно доставлять на берег улов в свежем виде. Как следствие, сокращается время, затрачиваемое непосредственно на ведение промысла.

В последнее время начали применять специальную меру - установление минимального объема добычи водных биоресурсов на одно промысловое судно определенного типа. Смысл ее заключается в косвенном нормировании промыслового усилия. Зная среднегодовой улов на одно судно, можно рассчитать допустимое количество судов. Таким образом обеспечивается соответствие средств добычи установленному лимиту вылова. Кроме того, это способствует поддержанию рентабельности промысла на определенном уровне и предотвращает сокрытие уловов.

*Регламентирование типов орудий лова и их конструктивных особенностей.*

Регламентирование типов используемых орудий лова может быть обусловлено рядом причин, связанных как с воздействием на интенсивность лова, так и на его селективность.

1. Запрещение определенных типов орудий лова может быть связано с попыткой ограничения интенсивности промысла. Например, в период после Второй мировой войны на внутренних водоемах России быстрое развитие получил траловый промысел, который в течение нескольких лет позволял снабжать население рыбой. Однако сверхинтенсивный лов по влек за собой резкое, хотя и закономерное снижение запасов и падение эффективности лова. Вывод из этого был сделан совершенно неадекватный — вместо простого снижения интенсивности (сокращения количества судов до оптимального) было признано, что траловый лов является вредным, и он был запрещен на внутренних водоемах в течение 30 лет. Лишь в начале 1980-х годов этот промысел опять начал возрождаться. В действительности, независимо от того, каким орудием ведется промысел, если не превышена установленная величина допустимой интенсивности лова или лимит

вылова, он не нарушает стабильности эксплуатируемой популяции, разумеется, при соблюдении известных условий стабилизации. Таким образом, с точки зрения регламентирования промыслового усилия, запрещение определенных типов орудий лова не имеет биологического обоснования.

2. Определенные типы орудий лова могут быть запрещены с целью регулирования селективности промысла. Так, например, в активных отцеживающих орудиях лова прилов рыб, не достигших заданного оптимального возраста  $t_c$  всегда значительно выше, чем в объеживающих. Попытки снизить величину прилова за счет, например, увеличения шага ячеи не всегда дают результат, т. к. приводят к снижению величины улова и падению экономических преимуществ активного лова.

3. Регламентирование типов разрешенных орудий лова может служить решению задачи оптимизации промысла целевых видов и снижению прилова сопутствующих. Например, в Куршском заливе Балтийского моря разрешается промысел чехони сетями, устанавливаемыми в толще воды, в период, когда применение всех других орудий лова запрещено.

*Установление промысловой меры на рыбу.*

Установление промысловой меры на рыбу  $L_c$  является прямым способом регламентирования возраста первой поимки  $t_c$  на уровне, соответствующем получению оптимального улова. Ограничение промысла особей, не достигших промысловой меры, может достигаться двумя путями:

1) прямым запретом отлова, когда все пойманные мелкие особи должны быть выпущены в водоем в живом виде непосредственно после их поимки;

2) запретом на выгрузку и реализацию рыбы, не соответствующей установленной промысловой мере.

*Установление минимального размера ячеи.*

Установление минимального разрешенного шага ячеи в орудиях лова является прямым способом регламентирования оптимального возраста начала эксплуатации  $t_c$ . Зная оптимальный возраст начала эксплуатации, зависимость между длиной и возрастом рыбы (кривую индивидуального роста) и зависимость между шагом ячеи и длиной ловимой рыбы, оптимальный шаг ячеи можно сравнительно просто рассчитать.

*Регламентирование способов, сроков и мест лова.*

Регламентирование способов, сроков лова и мест лова представляет собой косвенный способ управления обоими параметрами промысла - интенсивностью и селективностью. Используются различные схемы и комбинации мер регулирования. Наиболее широко распространены следующие.

1. Запрет на ведение промысла в период нереста с целью предотвращения вылова производителей. С формальной точки зрения, этот запрет есть не что иное, как косвенный способ ограничения интенсивности лова. Однако это ограничение может быть обеспечено и одним из любых других способов, перечисленных выше, например, регламентированием количества используемых орудий лова. Какой из подходов более эффективен, должны решать простые расчеты.

2. Ограничение общей продолжительности промысла, введение запретных периодов или, наоборот, введение периодов, разрешенных для промысла. В целом данная мера регулирования обеспечивает сокращения промыслового усилия. Однако очень часто ограничение периодов промысла вводится по экономическим и технологическим причинам.

3. Установление запретных для рыболовства районов преследует две цели. Если район запрета является местом нагула молоди, то такая мера приведет к увеличению возраста, в котором рыба становится объектом промысла. Иначе говоря, запрет окажется направленным на защиту молоди, которая в противном случае была бы выловлена применяющимися орудиями лова. Следовательно, эта мера эквивалентна увеличению селективности орудий лова. С другой стороны, запрет промысла в районе, занятом промысловой частью популяции, приведет к уменьшению общей интенсивности лова,

поскольку он снижает эффективность и обуславливает распределение рыболовного усилия. Влияние этого запрета на величину коэффициента промысловой смертности оценить довольно трудно, так как последняя будет зависеть еще и от характера обмена рыбами между запретным и открытым для рыболовства районами. При интенсивном обмене такой запрет мог оказаться неэффективным, в то время как при слабом обмене он приводил бы к уменьшению численности популяции и поэтому оказался бы вредным. Чтобы такой запрет принес пользу, необходимо знание закономерностей миграций рыб. Кроме того, установление запретных районов в целом приводит к снижению интенсивности лова и в настоящее время при использовании спутниковой системы наблюдения может достаточно просто контролироваться.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Регулирование рыболовства.
2. Лимитирование уловов.
3. Регламентирование типов судов
4. Регламентирование типов орудий лова и их конструктивных особенностей
5. Установление промысловой меры на рыбу.
6. Установление минимального размера ячеи.
7. Регламентирование способов, сроков и мест лова

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

##### *Основная*

1. **Шибяев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибяев С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

##### *Дополнительная*

1. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
2. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева- М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.

## ПРОМЫСЛОВЫЕ ПРОГНОЗЫ. ВИДЫ ПРОГНОЗОВ. МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ГОДОВЫХ ПРОГНОЗОВ

### *Промысловые прогнозы.*

Сырьевой базой рыболовства являются водные биологические ресурсы, которые представлены рыбами, водными беспозвоночными, водными млекопитающими, водорослями, другими водными животными и растениями, находящимися в состоянии естественной свободы.

Водные биоресурсы - это один из видов природных ресурсов и, в соответствии с принятой в настоящее время классификацией, они являются исчерпаемыми, но возобновимыми.

В отличие от неживых ресурсов, таких как нефть, газ, уголь, водные биологические ресурсы, являются весьма специфическим объектом эксплуатации. Эта специфика заключается в следующем.

1. Сырьевая база является нестабильной и подвержена различного рода флюктуациям во времени и пространстве. Необходимо ежегодно знать, каково состояние запаса, каков может быть оптимальный улов и какие мощности добывающей базы необходимо привлечь для его достижения. В противном случае промысел будет иметь низкую экономическую эффективность, недоиспользовать запас либо, наоборот, подрывать его.

2. Несмотря на то, что живые ресурсы являются возобновимыми, их восстановительная способность в значительной степени зависит от режима эксплуатации. Перелов, может стать причиной исчезновения предмета эксплуатации, хотя фактически промысел абсолютно всю рыбу выловить не может.

3. Промысел и связанная с ним рыбохозяйственная деятельность (искусственное воспроизводство, мелиорация) являются одними из мощнейших факторов, которые формируют сырьевую базу водоемов. Деятельность человека может и должна быть направлена на улучшение, в определенных пределах, уровня развития сырьевой базы или ее восстановление. Не случайно в Законе о рыболовстве (2004) указано, что «охрана водных биоресурсов предполагает поддержание их состояния или их восстановление до уровней, при которых могут быть обеспечены максимальная устойчивая добыча (вылов) водных биоресурсов и их биологическое разнообразие посредством осуществления на основе научных данных мер по изучению, охране, воспроизводству, рациональному использованию водных биоресурсов и охране среды их обитания».

Таким образом, ведение рационального рыболовства возможно только на основе постоянного контроля и прогнозирования состояния водных биоресурсов и принятия в зависимости от этого с определенной заблаговременностью тех или иных мер регулирования рыболовства.

Промысловое прогнозирование является важнейшей задачей рыбохозяйственной науки. Во всех странах, осуществляющих рыболовство в морях или внутренних водоемах, созданы научные организации, которые отвечают за составление промысловых прогнозов для закрепленных за ними водоемов или бассейнов.

### *Виды прогнозов.*

С биологической точки зрения прогноз должен предусматривать оценку состояния эксплуатируемой популяции с некоторой заданной заблаговременностью. Вместе с тем, учитывая, что все рыбохозяйственные исследования направлены в первую очередь на достижение максимальной эффективности использования продукционных свойств популяций — достижение максимального улова, то, как правило, прогнозируется не только промысловый запас, а и непосредственно величина улова, которая может быть получена при предполагаемом состоянии стада.

*Прогноз улова* — научно обоснованная величина изъятия рыб из водоема всеми видами промысла, рассчитанная с определенной заблаговременностью.

Прогнозы подразделяются на три группы:

- годовой прогноз с заблаговременностью до 1-5 лет;
- перспективный (долгосрочный) прогноз с заблаговременностью более 5 лет;
- оперативный (краткосрочный) прогноз с заблаговременностью квартал, месяц или декада.

*Годовой прогноз.*

Годовой прогноз содержит рекомендуемую величину вылова и ожидаемую производительность промысла на конкретный год. В СССР, а затем и в России с целью планирования работы рыбной отрасли было принято прогнозирование с заблаговременностью 2 года.

Цель прогноза - оценка общего допустимого улова (ОДУ) и принятие решений по управлению добывающей базой в прогнозном году: дислокация флота, районы промысла, повышение интенсивности промысла за счет привлечения мощностей из других регионов или новых пользователей, или сокращений интенсивности лова.

*Долгосрочный прогноз.*

Перспективный (долгосрочный прогноз) составляется на период более 5 лет. Прогноз содержит рекомендуемый вылов, определенный на основе среднесрочных величин запасов, уловов, установленных закономерностей динамики численности промысловых стад под воздействием различных абиотических и антропогенных факторов.

*Краткосрочный прогноз.*

Краткосрочный (оперативный) прогноз составляется на квартал, месяц, декаду. В основу прогноза положено обнаружение промысловых скоплений и направление на них флота, оценка возможностей образования скоплений рыб и их устойчивости в связи с действием абиотических факторов и, соответственно, управление промыслом. Оперативный прогноз включает информацию:

- гидрометеорологические условия;
- условия и характер образования промысловых скоплений;
- прогноз ожидаемой производительности промысла.

Оперативные прогнозы позволяют более эффективно освоить выделенные квоты. Они могут разрабатываться как научными организациями, так и самими добывающими организациями. В СССР существовала государственная система промысловой разведки, основной задачей которой и было оперативное прогнозирование.

Теория краткосрочных прогнозов строится на основе установления корреляционных связей между величинами уловов и различными факторами (температурой, уровнем, течениями, метеоусловиями и т. п.). Это, естественно, требует длительного ряда наблюдений за всеми параметрами, а не только за рыбой, что очень затруднено. В последние годы активно развивается спутниковое зондирование океана для разработки оперативных прогнозов.

*Методы разработки годовых прогнозов.*

Исторически развитие методов промыслового прогнозирования прошло несколько этапов, которые различались принятой идеологией, теоретической базой и целями прогнозирования.

Ответственное рыболовство, которое обеспечивает реализацию предосторожного подхода, оперирует тремя типами ориентиров управления — целевыми, граничными и буферными (предосторожными).

*Прогноз на основе анализа статистики уловов (регрессионный прогноз).*

В основу метода заложено представление о том, что величина улова, приходящегося на единицу промыслового усилия, прямо пропорциональна величине запаса. Следовательно, по многолетней динамике уловов можно судить о динамике запаса. Если

найти определенную периодичность в изменении уловов, то можно спрогнозировать возможный улов.

*Прогноз на основе анализа гидрологических условий водоема (аналоговый прогноз).*

Изменение гидрологического режима в той или иной форме оказывает влияние на все условия существования рыб и в первую очередь на размножение, обеспеченность пищей и, в конечном итоге, на численность популяций. Зная закономерности изменения гидрологических показателей и определяемые ими величины запасов (но с некоторым сдвигом во времени), можно установить математическую связь между параметрами и использовать ее для прогнозирования.

Зависимости эти довольно трудно описываются и поэтому на практике очень часто пользуются методом аналогии: в ряду наблюдений находят годы, когда имелись сходные с текущими условиями, и оценивают, каким образом это повлияло на величины уловов. По сути дела, такой прогноз позволяет оценить ВДУ, но не ОДУ.

*Прогноз, основанный на учете биологического состояния стада.*

Закономерности динамики эксплуатируемых популяций рыб показывают, что популяционные параметры, а также состояние ихтиоценоза и в целом экосистемы в значительной степени зависят от промысла. Следовательно, по их состоянию можно судить о степени эффективности рыболовства и делать умозаключения о возможных тенденциях в изменении запаса.

Используя описанные причинно-следственные связи, Г. В. Никольский предложил следующие критерии прогнозирования уловов и определения прогноза вылова (ОДУ в современной терминологии). К тезисам, выдвинутым Г. В. Никольским, мы дадим некоторые комментарии, исходя из современного понимания теории динамики стада.

I. ОДУ может быть установлен равным улову прошлого года при наличии следующих условий:

1) если темп роста особей близок к максимальному и изменчивость роста в пределах каждой возрастной группы незначительна (хотя в реальности трудно установить максимальный рост и неизвестно, какой должна быть оптимальная изменчивость);

2) если возраст половой зрелости не выше среднего для данной популяции, большинство особей созревают в минимальном возрасте и возраст созревания не слишком растянут (тезис скорее умозрительный и очень слабо связанный с характеристикой популяции в конкретном году);

3) если уловы стабильны при постоянной в течение последних лет интенсивности промысла (стабильность уловов свидетельствует о стабильности популяции в течение рассматриваемого периода, но это не значит, что в следующем году пополнение не может измениться).

II. ОДУ должен быть уменьшен, если:

1) темп роста высокий и не меняется в связи с изменением численности рыб (т. е. кормовая база может поддерживать более высокую численность);

2) половая зрелость ранняя и возрастной ряд впервые созревающих особей сжат;

3) уловы при стабильной или повышающейся интенсивности промысла падают;

4) уровень развития кормовой базы высокий.

III. ОДУ должен быть увеличен, если:

1) темп роста замедлен (значит, имеет место перенаселение и снижение обеспеченности пищей);

2) половое созревание смещается на более старшие возраста (т. е. масса созревания особи достигается в более старшем возрасте) и возрастной ряд впервые созревающих особей сильно растянут;

3) уловы стабильны или возрастают;

4) кормовая база в начале кормового сезона близка к среднемуголетней, а во время нагула интенсивно выедается.

*Биостатистический прогноз.*

**Биостатистический прогноз** — обобщенное обозначение группы дополняющих друг друга методик, позволяющих рассчитать ВДУ и ОДУ с заблаговременностью 1-2 года. Прогноз основывается на данных о биологических показателях исследуемой популяции и статистике промысла (отсюда и его название). По сути дела, биостатистический прогноз есть не что иное, как модель популяции, которая в зависимости от наличия или отсутствия необходимой информации может предсказывать поведение системы с большей или меньшей достоверностью. Различные модификации расчетов имеют целью нивелировать недостаток исходных данных, но единой универсальной методики до настоящего времени не существует. Учитывая это, в следующем разделе описывается обобщенная формальная схема, позволяющая составить представление о подходе к прогнозу вылова в свете современных представлений о закономерностях динамики эксплуатируемых популяций рыб.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Промысловые прогнозы.
2. Виды прогнозов.
3. Прогноз на основе анализа статистики уловов (регрессионный прогноз).
4. Прогноз на основе анализа гидрологических условий водоема (аналоговый прогноз).
5. Прогноз, основанный на учете биологического состояния стада.
6. Биостатистический прогноз.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

##### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.

##### *Дополнительная*

1. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
2. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева-М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шибяев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибяев С.В. – СПб.: «Проспект науки», 2007. - 400 с.
2. **Сечин, Ю.Т.** Биоресурсные исследования на внутренних водоёмах. Учебник / Сечин Ю.Т. – Калуга.: «Эйдос», 2010. – 204 с.
3. **Аксюткина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксюткина - М.: Пищевая пром-ть, 1968. - 289 с.
4. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая пром-ть,, 1983. - 272 с.
5. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
6. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
7. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
8. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
9. **Малкин, Е.М.** Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценки численности рыб на основе биостатистических данных./ Е.М. Малкин, В.М. Борисов - М.:ВНИРО, 2000. - 36 с.
10. Современное состояние рыбного хозяйства на внутренних водоемах России. - С.-П.: ГосНИОРХ, 2000..
11. **Морузи, И.В.** Рыбоводство. Учебник / И.В. Морузи, Н.Н. Моисеев, З.А. Пищенко– М.: «Колос.», 2010. - 360 с.
12. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>
13. Журнал рыбоводство и рыболовство (архив) <http://journal-club.ru/?q=node/4843>
14. Журнал рыбное хозяйство [http://elibrary.ru/query\\_results.asp](http://elibrary.ru/query_results.asp)

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>Лекция №1 Рост и продуктивность популяции. Линейная, экспоненциальная, степенная функция</b>	<b>4</b>
Вопросы для самоконтроля	6
Список литературы	6
<b>Лекция №2 Рост и продуктивность популяции. Уравнение Форда-Уолфорда, уравнение Берталанфи</b>	<b>7</b>
Вопросы для самоконтроля	10
Список литературы	10
<b>Лекция №3 Рост и продуктивность популяции. Биомасса популяций. Типы роста популяций</b>	<b>11</b>
Вопросы для самоконтроля	14
Список литературы	14
<b>Лекция №4 Регуляция численности популяций. Продуктивность популяций</b>	<b>16</b>
Вопросы для самоконтроля	19
Список литературы	19
<b>Лекция №5 Продукционные модели. Модель Баранова</b>	<b>21</b>
Вопросы для самоконтроля	23
Список литературы	23
<b>Лекция 6 Современные продукционные модели</b>	<b>24</b>
Вопросы для самоконтроля	28
Список литературы	28
<b>Лекция 7 Аналитические промысловые модели. Модель Баранова</b>	<b>29</b>
Вопросы для самоконтроля	30
Список литературы	30
<b>Лекция №8 Модель Бивертон-Холта (Beverton, Holt, 1959)</b>	<b>31</b>
Вопросы для самоконтроля	34
Список литературы	35
<b>Лекция №9 Модель Риккера</b>	<b>36</b>
Вопросы для самоконтроля	39
Список литературы	39
<b>Лекция №10 Общие закономерности динамики эксплуатируемых популяций</b>	<b>40</b>
Вопросы для самоконтроля	50
Список литературы	50
<b>Лекция №11 Концепция перелома</b>	<b>51</b>
Вопросы для самоконтроля	53
Список литературы	53
<b>Лекция №12 Оптимальный улов</b>	<b>54</b>
Вопросы для самоконтроля	58
Список литературы	58
<b>Лекция №13 Регулирование рыболовства. Лимитирование уловов</b>	<b>60</b>
Вопросы для самоконтроля	63
Список литературы	63
<b>Лекция №14 Промысловые прогнозы. Виды прогнозов. Методы разработки годовых прогнозов</b>	<b>64</b>
Вопросы для самоконтроля	67
Список литературы	67
<b>Библиографический список</b>	<b>68</b>