

**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 1)**

**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. 1 / 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

### **ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, ПРЕДМЕТ И ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОВОЙ ИХТИОЛОГИИ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТЕРМИНЫ. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ИХТИОЛОГИИ**

Развитие мирового рыболовства на современном этапе достигло такого уровня, что его воздействие стало соизмеримым, а зачастую и значительно более интенсивным, чем влияние всех других экологических факторов, существующих в экосистеме водоемов. По сути дела, промысел стал не просто «насосом», который изымает часть особей из популяции, он превратился в средство управления водными биоресурсами. Подбирая необходимую интенсивность и селективность промысла, вводя ограничительные или регламентирующие меры по срокам, местам, типам используемых орудий лова, человек может обеспечить изменение запаса в нужном направлении. За счет изменения режима рыболовства можно уменьшить или увеличить запас, приблизив его к девственному состоянию, изменить размерную и возрастную структуру популяции; смещением акцентов промысла — подавить или, наоборот, защитить тот или иной вид и, наконец, с помощью искусственного воспроизводства и интродукции изменить само качество ихтиофауны. Кроме того, эволюция идеологии природопользования, когда главным критерием оптимальной эксплуатации является не просто предотвращение воздействия промысла на запас, а устойчивое развитие рыболова, приводит к тому, что многие традиционные представления оказываются уже недостаточными для эффективного управления водными биоресурсами. Внедрение принципа предосторожности в рыбохозяйственную практику требует еще более глубокого понимания закономерностей динамики рыбных запасов в свете новых представлений.

*Промысловая ихтиология* является одним из важнейших разделов ихтиологии и посвящена изучению закономерностей динамики популяций рыб как в естественных условиях, так и под воздействием промысла.

Понятие «промысловая ихтиология» как самостоятельное направление исследований сформировалось не сразу, и зачастую в него вкладывался иной смысл. Так, если обратиться к истории развития ихтиологической науки, то примечательной в этой связи является книга проф. В. К. Солдатова «Промысловая ихтиология», выпущенная в 1934 г. Основными разделами этой книги являются морфология, анатомия, физиология рыб, характер взаимодействия рыб с абиотической и биотической окружающей средой и жизненные циклы рыб. Понятно, что знание всех этих элементов необходимы, но совершенно недостаточны для понимания закономерностей формирования запасов, тем более в условиях промыслового использования.

Датой возникновения «Промысловой ихтиологии» можно считать 1918 г., когда была выпущена известная статья проф. Ф. И. Баранова «К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства» в ней впервые был поставлен вопрос о факторах, определяющих динамику численности эксплуатируемой популяции рыбы, характере воздействия промысла и путях достижения оптимального рыболовства.

В отличие от всех предшествующих ихтиологических исследований, которые либо отрицали воздействие промысла на запасы, либо, наоборот, рассматривали его как некоторое «зло», заслуживающее всемерного ограничения, Ф. И. Баранов выдвинул гипотезу о том, что промысел является одним из самых мощных факторов,

определяющих саму величину промыслового запаса и динамику системы «запас-промысел». Предложенный им математический аппарат моделирования данной системы послужил основой для всех современных методов теории рыболовства.

Таким образом, в современном понимании

*предметом* промысловой ихтиологии является система «запас-промысел», а *методом* — системный анализ.

Системный анализ представляет собой специфический метод исследований, рассматривающий любой предмет изучения как систему.

*Задачи промысловой ихтиологии*

Промысловая ихтиология появилась в результате практических потребностей человека в обеспечении эффективного природопользования. В связи с этим она имеет как теоретические, так и практические задачи.

Теоретические задачи:

1. Исследование общих закономерностей динамики эксплуатируемых запасов водных гидробионтов;
2. Разработка методов оценки биологических параметров популяций и промыслово-биологических показателей системы «запас-промысел»;
3. Изучение закономерностей формирования продуктивности популяций промысловых гидробионтов;
4. Создание теоретических основ управления водными биоресурсами.

Практические задачи:

1. Изучение закономерностей формирования пополнения промыслового стада молодью;
2. Исследование характера влияния рыболовства на эксплуатируемые запасы гидробионтов;
3. Оценка оптимальных параметров промыслового использования продукционных свойств популяций, ихтиоценозов и водных экосистем;
4. Разработка биологических оснований Правил рыболовства;
5. Составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов вылова рыбы в рыбохозяйственных водоемах;
6. Разработка прогнозов общего допустимого улова ОДУ.

Промысловая ихтиология рассматривает два элемента системы в их взаимосвязи - промысел и водные биоресурсы, но в то же время является в значительной мере синтетической наукой и использует знания ряда смежных областей:

1. общей и частной ихтиологии при исследовании популяционных параметров, закономерностей динамики численности и биомассы популяций, учете морфологических и поведенческих особенностей рыб в связи с их взаимодействием с орудиями рыболовства;

2. океанологии, когда исследуется воздействие внешних абиотических и биотических факторов на формирование запасов промысловых рыб, их продуктивность, динамику во времени и осуществляется прогнозирование уловов;

3. промышленного рыболовства при изучении характера промыслового воздействия на эксплуатируемые запасы, оценке эффективности ведения промысла.

В более широком смысле можно говорить, что промысловая ихтиология имеет связь и с гидрологией, т. к. условия ведения промысла во многом зависят от геоморфологический и гидрологической характеристик водоема.

Широко применяющееся понятие «теория динамики стада рыб» близко к содержанию предмета «промысловая ихтиология», но, скорее всего, не является его

синонимом. Теория динамики стада рыб изучает преимущественно закономерности динамики популяций, обусловленные воздействием комплекса естественных причин.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Цель, задачи, предмет Промысловой ихтиологии.
- 2) История становления науки.
- 3) Основные понятия, определения, термины.
- 4) Основные направления исследований в области промысловой ихтиологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шibaев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шibaев 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая промышленность, 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 промышленность, 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>

## Лекция №2

### РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПРОМЫСЛОВОЙ ИХТИОЛОГИИ

Одной из наиболее характерных особенностей объектов рыболовства является их полная или частичная недоступность методам прямого визуального исследования или контроля. В отличие от охотничьего, лесного или сельского хозяйства для суждения о состоянии эксплуатируемых запасов исследователь вынужден, не видя самого объекта, пользоваться некоторыми выборками, которые характеризуют генеральную совокупность с некоторой ошибкой. Именно это послужило в значительной степени стимулом для внедрения методов математического анализа и теории вероятностей в рыбохозяйственные исследования.

Другой причиной, обуславливающей важность применения математического аппарата в промысловой ихтиологии, является широкое применение методологии моделирования. Для разработки мероприятий по рациональному использованию продукционных свойств популяций рыб нужно знать, какая величина улова может быть получена при той или иной интенсивности и селективности промысла, и выбрать оптимальное сочетание этих параметров. Необходимо также гарантировать сохранение запаса и обеспечение достаточного воспроизводства молоди. Очевидно, что решение данной задачи не может быть найдено путем проведения натурального эксперимента — варьирования параметров рыболовства. Результат эксперимента может быть весьма негативным как по соображениям охраны биологического ресурса (при очень высокой интенсивности промысла стадо может быть просто уничтожено), так и ввиду технической сложности и высокой стоимости изменения режима рыболовства. В связи с этим единственным подходом к исследованию закономерностей динамики эксплуатируемых популяций рыб и разработке принципов рационального использования является метод моделирования.

Сущность моделирования: наряду с системой (оригиналом) рассматривается ее модель, которой выступает некоторая другая система, представляющая собой образ (подобие) оригинала. Модель, как правило, представляет собой упрощенный образ оригинала, который учитывает только наиболее существенные или важные компоненты и структуру объекта, но так, чтобы они достоверно отражали свойства оригинала.

Как будет показано ниже, в моделях, применяемых в промысловой ихтиологии, принимают во внимание крайне ограниченный список параметров, характерных для самой популяции, и всего два параметра — интенсивность и селективность, описывающих промысел.

Стратегия моделирования: путем упрощения получить модель, свойства и поведение которой можно было бы эффективно изучать, в то время как сам оригинал непосредственно изучить невозможно. Обязательное условие — модель должна оставалась сходной с оригиналом, так, чтобы результаты исследования были применимы и к оригиналу. Обратный переход от модели к оригиналу называется интерпретацией.

В зависимости от целей, наличия первичной информации, доступных способов реализации и задач различаются несколько классов моделей.

Реальные или натуральные (физические, аналоговые) модели являются уменьшенным образом оригинала. Например, аквариум как модель экосистемы водоема. Реальные модели достаточно полно отражают свойства экосистемы, но имеют существенные ограничения технического характера.

Знаковые модели представляют собой условное описание системы оригинала с помощью некоторого языка, слова которого интерпретируются как образы свойства состава и структуры изучаемой системы. Вполне понятно, что возможности знаковых моделей не ограничиваются никакими техническими показателями, а также количеством рассматриваемых факторов.

Концептуальные модели — формализованный и систематизированный вариант традиционного естественнонаучного описания изучаемой экосистемы. Это описание может состоять из текста, описывающего систему, таблиц (например численность и плотность популяций различных видов в экосистеме), графиков (например график зависимости биомассы планктонных ракообразных от биомассы рыбы), блок-схем, показывающих структуру экосистемы и связи между ее компонентами.

Концептуальная модель обычно подводит итог полевым наблюдениям и экспериментам и служит обобщенным описанием экосистемы. Преимущества концептуальных моделей: простота, универсальность, гибкость, богатство средств выражения. Недостатки — неоднозначность решений, статичность, которая затрудняет описание динамических систем.

Математические модели описывают состояние и динамику системы с помощью языка математики.

Аналитические — описывают экосистемы в виде аналитических уравнений, решение которых позволяет получить однозначную оценку изучаемого параметра в виде некоторого выражения. Например, уравнение В. С. Ивлева — зависимость величины рациона рыбы  $R$  от концентрации пищи  $B$ :

$$R = R_{\max} (1 - e^{-\gamma B}),$$

где:  $R_{\max}$  — максимально возможный рацион;  
 $\gamma$  — коэффициент.

Аналитический подход обычно принимает во внимание очень небольшое количество параметров и позволяет получить качественную картину поведения системы в целом, не затушевывая ее множеством частных подробностей. В этом смысле он является основой для большинства теоретических построений.

Имитационные модели описывают поведение системы в виде дифференциальных уравнений. Например, модель «хищник—жертва» может быть представлена системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = (a_{11} - a_{12}N_2)N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} = (a_{21}N_1 - a_{22})N_2 \end{cases},$$

где:  $N_1, N_2$  — численность хищника и жертвы соответственно;  $a_{ij}$  — коэффициенты.

Имитационная модель не имеет аналитического решения, т. е. результат моделирования не может быть представлен в виде какого-либо уравнения. Поиск решения осуществляется с использованием ЭВМ в численном виде с заданной степенью точности. Имитационные модели значительно более гибкие по сравнению с аналитическими моделями, и в современных условиях при наличии мощной вычислительной техники их исследование не представляет труда.

Каждый из классов математических моделей — аналитические и имитационные — может включать различные подходы к описанию процессов, проходящих в системах. Выделяют следующие альтернативные варианты подходов:



1. Модели непрерывные и дискретные различаются способом представления поведения системы во времени: в непрерывных моделях состояние системы можно определить в любой момент времени, в дискретных — только в начале и конце заданного временного шага, например, года. При уменьшении шага времени дискретные модели приближаются к непрерывным. Пример такого подхода — описание судьбы одного поколения рыбы в течение всей его жизни.

2. Модели детерминированные и стохастические различаются формой представления результатов моделирования — в виде единственного значения, характеризующего состояние системы в заданный момент времени либо в виде вероятности достижения этого состояния с некоторой ошибкой. Примером стохастической модели может служить описание роста рыб с учетом вариабельности массы одновозрастных особей.

3. Модели точечные и пространственные описывают систему с учетом либо без учета пространственного распределения параметров системы. В пространственных моделях поведение системы зависит не только от времени, но и от положения в пространстве. Пример: можно рассматривать динамику во времени численности популяции рыбы, а можно учесть еще неравномерность распределения рыбы по акватории водоема за счет миграция. Ясно, что второй подход точнее опишет динамику системы, но для него необходима дополнительная информация.

4. Модели статические и динамические описывают либо состояние системы в данный момент, либо ее динамику во времени.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Роль математических методов в промысловой ихтиологии.
- 2) Сущность математического моделирования.
- 3) Классы 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
3. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
4. **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.
5. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

### Лекция №3

## ФОРМАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ЖИЗНИ РЫБ Ф.И.БАРАНОВА. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ УЛОВА

Популяции — это не просто пространственная группировка особей, а некоторая целостная система, существующая во времени. Поскольку длительность существования популяции значительно превосходит продолжительность жизни отдельных особей (теоретически популяция бессмертна), в ней постоянно происходит смена поколений. Даже если численность популяции стабильна, то стабильность эта есть результат некоторого динамического равновесия процессов, обеспечивающих прибыль и убыль особей.

Первопричинами, обуславливающими равновесие любой части изолированной популяции, т. е. такой, в которой отсутствует эмиграция и иммиграция ее особей, являются: пополнение, весовой рост, естественная смертность и вылов.

Уравнение Рассела, примененное им для популяций рыб, можно записать в виде:

$$B_2 = B_1 + (R + G) - (M + F),$$

где:  $B_1, B_2$  — общая масса популяции в начале и в конце рассматриваемого периода;  $R$  — пополнение;  $G$  — рост;  $M$  — естественная смертность;  $F$  — вылов.

Очевидно, что популяция будет находиться и стабильном состоянии, в том случае, когда положительная составляющая правой части уравнения будет равна отрицательной составляющей:

$$R + G = M + F$$

Согласно аксиоме Рассела воздействие разного рода возмущающих факторов на любую из первопричин, обуславливающих состояние равновесия популяции, вызывает его нарушение и определяет переход системы на новый уровень стабильности.

Уравнение Рассела хотя и объясняет закономерности динамики популяции, но ввиду своего общего характера не позволяет вскрыть, механизм этой динамики.

Впервые способ теоретического отображения динамики популяции был разработан Ф. И. Барановым. Он впервые ответил на вопрос о том, каким же должно быть нормальное состояние стада рыбы и нормальное состояние промысла и возможно ли при существовании промысла сохранить рыбные запасы в их первоначальном, первобытном состоянии.

В результате анализа известных к тому времени данных о динамике промысла североморской камбалы им была разработана «формальная» теория жизни рыб.

В качестве исходного был выбран идеальный случай и изолированного водоема, рыболовство в котором производится с некоторой постоянной интенсивностью в течение достаточно продолжительного промежутка времени. Предполагается, что в этом водоеме не имеют места ни эпидемии, ни резкие колебания гидрологических факторов и тому подобные явления, вызывающие случайные изменения в составе рыбного населения.

Рассмотрим судьбу одного поколения рыб, которые в некоторый начальный момент времени  $t_0$  появляются в водоеме и имеют численность  $N_0$ . Через определенный промежуток времени, например год, возраст рыб увеличится на единицу, а численность обязательно снизится под воздействием комплекса естественных факторов - хищников, паразитов, болезней, нехватки пищи, и достигнет значения  $N_1$ . К следующему году возраст рыб увеличится еще на единицу, а численность поколения снизится до значения  $N_2$ . Проследив за судьбой поколения, мы можем построить *кривую выживания*

как геометрическое место точек, описывающих изменение численности поколения в течение его жизни. Форма кривой выживания определяется смертностью рыб  $Z$ , т. е. той скоростью, с которой происходит убыль численности поколения, а ее положение — начальной численностью поколения  $N_0$ .

Предположим, что нерест рыб происходит ежегодно и из отложенного количества икры выводится и поступает в популяцию постоянное число мальков, равное  $N_0$ . Такое допущение может быть справедливым, если учесть, что рыбы имеют высокую плодовитость, откладывают большое количество икры, но численность молоди в большей степени зависит от условий инкубации и уровня развития кормовой базы. Кроме того, площади нерестилищ обычно бывают ограниченны и характеризуются некоторой относительно постоянной величиной. Тогда по мере старения рыб и перехода в следующую возрастную группу их место будет занимать последующее поколение. Если мы будем проводить наблюдения достаточно долго, то в конце концов окажется, что популяция будет представлена всеми возрастными группами в пределах продолжительности жизни данного вида и численность каждой более старшей возрастной группы будет меньше, чем каждой более младшей.

*Кривая населения* — геометрическое место точек, описывающих возрастную структуру популяции. Если начальная численность будет равна  $N_0$ , а скорость, с которой происходит уменьшение численности поколения, равна  $Z$ , то кривая населения будет тождественна кривой выживания.

В целях математического описания кривой населения Ф. И. Баранов применил простой подход. Анализируя размерно-возрастной состав уловов североморской камбалы, оцененный по данным массовых промеров уловов, выгруженных в английских портах, он заметил следующее. Если построить график размерно-возрастной структуры уловов в полулогарифмической системе координат, то оказывается, что в правой части (там, где не воздействует селективность орудий) уловы ложатся на прямую нисходящую линию. Такая форма правой части кривой свидетельствует о том, что скорость изменения численности в зависимости от времени характеризуется некоторой постоянной величиной. Обозначив через  $N_t$  численность любой возрастной группы рыб, а через  $t$  — время, можно данную зависимость выразить как

$$\frac{dN}{dt} = -ZN,$$

где:  $Z$  — коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех возрастных групп.

Смысл уравнения: за элементарный (очень маленький) промежуток времени  $dt$  численность рыб уменьшается на величину  $dN$ , равную  $Z$ -той части от фактической численности  $N$ .

Теперь необходимо определить закон, по которому в зависимости от времени (возраста) изменяется численность рыб. Разделяя переменные и интегрируя уравнение, получаем

$$\int \frac{dN}{N} = -\int Z dt;$$

$$\ln N = -Zt + C;$$

$$N = C \cdot e^{-Zt};$$

где  $C$  — константа интегрирования.

Для нахождения константы интегрирования примем, что в начальном момент времени  $t = 0$ , численность равна  $N_0$ . Подставляя эти значения, получаем

$$N_0 = C \cdot e^{-Z \cdot 0} \Rightarrow C = N_0.$$

Следовательно, константа интегрирования  $C$  равна начальной численности поколения. Делая подстановку, приходим к уравнению, описывающему динамику численности одного поколения

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

Это соотношение называется *уравнение Баранова*, а коэффициент пропорциональности  $Z$  называется мгновенным коэффициентом общей смертности.

В том случае, когда соблюдаются сформулированные выше условия о стабильности  $N_0$  и  $Z$ , уравнение Баранова будет описывать не только динамику численности одного поколения (кривую выживания), но и кривую населения популяции.

Предположим, что скорость уменьшения численности рыб  $Z$  определяется двумя факторами. Первый из них обусловлен изъятием рыбы промыслом ( $F$ ), а второй — всеми остальными причинами, кроме промысла ( $M$ ):

$$Z = F + M.$$

Используя уравнение Баранова, можно описать закон динамики численности

$$\frac{dN}{dt} = -(F + M)N$$

и определить саму численность в любой момент времени  $t$  в зависимости от совокупного воздействия обоих выделенных причин:

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}$$

Необходимо рассчитать количество рыб, которое гибнет под воздействием только одной причины — промысла и изымается в виде улова ( $Y$ ) за определенный промежуток времени, например, один год ( $t = 0 \dots 1$ ):

$$\frac{dY}{dt} = FN,$$

*Смысл уравнения:* за элементарный промежуток времени  $dt$  (например, за один день или за одно траление) из популяции изымается в виде улова  $dY$  рыб. Величина улова  $dY$  равна  $F$ -ной части от фактической численности  $N$  (например, 10 % в сутки).

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Формальная теория жизни рыб Ф.И.Баранова.
- 2) Основное уравнение улова.

### 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.

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

## Лекция №.4

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ

Кривая населения, которая описывает возрастную структуру популяции в данный момент времени, есть результат взаимодействия в течение предшествующего периода двух параметров популяции — пополнения ее молодью и гибели особей. Если первый и второй параметры остаются постоянными на протяжении длительного времени, то и кривая населения будет иметь одинаковую форму на протяжении неограниченного периода. На графике она будет представлена нисходящей кривой, тождественной кривой выживания.

*Стабильная популяция* — популяция, у которой возрастная структура и численность остаются неизменными на протяжении определенного промежутка времени.

Возрастная структура стабильной популяции описывается уравнением Баранова и соответствует кривой выживания. В целях большей наглядности в промысловой ихтиологии принято изображать кривые населения и выживания в полулогарифмической системе координат. Согласно уравнению Баранова в этом случае возрастная структура будет описываться нисходящей прямой, при условии что коэффициент смертности  $Z$  одинаков у всех возрастных групп.

Такая форма представления очень удобна для анализа состояния популяций. Положение кривой выживания на графике определяется величиной пополнения  $R$ , а угол наклона — смертностью  $Z$ . Три варианта соотношений между  $R$  и  $Z$ . В первом случае различия между коэффициентами смертности приводят к расхождению углов наклона кривых выживания. Во втором — различия в величине пополнения дают две параллельных кривых, расположенных одна над другой, и, наконец, в том варианте, когда как величина смертности, так и численность пополнения двух популяций различаются между собой, на графике получаются две перекрещивающиеся прямые.

Теоретически, независимо от того, какова будет величина смертности и численность молоди, если только эти два параметра будут постоянны, популяция также будет существовать в стабильном состоянии неограниченное время, ежегодно имея одну и ту же возрастную структуру, численность каждой возрастной группы ( $N_t$ ) и суммарную численность ( $B_N$ ).

В реальных условиях популяция редко находится в абсолютно стабильном состоянии. Ежегодно в зависимости от условий нереста изменяется пополнение в связи с изменениями интенсивности промысла, степенью обеспеченности рыб пищей в каждом году и многими другими причинами, не остается постоянной и величина смертности. Все это отражается на возрастной структуре популяции.

*Кривая населения* — линия, описывающая возрастную структуру реальной популяции. Ее форма и положение определяются 1) непостоянством величины пополнения по годам и 2) изменчивостью смертности. В зависимости от этого кривая населения будет иметь в большей или меньшей степени выраженную «пилообразную» форму.

#### *Возрастная структура улова*

Предположим, что промысел ведется каким-либо отцеживающим орудием лова. Крупные рыбы, которые не могут пройти сквозь ячейку полностью, улавливаются, причем соотношение их в улове будет, очевидно, таким же, как и в водоеме. Рыбы, имеющие размеры меньше некоторой определенной величины, будут проскакивать через ячейку тем в большей степени, чем меньше их длина.

*Кривая улова:* линия, описывающая возрастную структуру популяции в улове. Ее форма определяется 1) формой кривой населения и 2) селективностью используемых орудий лова (шагом ячеи).

На графике кривая улова имеет куполообразную форму. Левая ее часть определяется селективностью орудия, а правая будет параллельна кривой населения. Учитывая, что форма кривой населения различна для стабильной и нестабильной популяций, очевидно, что аналогичным образом будет изменяться и кривая улова.

Следствием данной закономерности является то, что обловы, проводимые с целью исследования структуры популяций, дают характеристику последней только в той части кривой улова, которая соответствует кривой населения. В этой связи можно предположить, что наиболее эффективным способом установления структуры будет лов рыбы отцеживающим орудием лова, обладающим как можно меньшей ячеей. В реальности оказывается, что на результаты таких исследований существенное воздействие оказывают особенности орудий лова: обычно мелкочаеистые орудия имеют низкую уловистость по отношению к крупным особям и, следовательно, все равно неверно отражают структуру всей популяции. Единственным выходом из данного положения является использование комплекса разно-ячеистых орудий рыболовства.

Выводы о закономерностях стабилизации численности популяции.

*1. Популяция всегда приходит в стабильное состояние,* если численность пополнения и смертность остаются постоянными. Стабилизация наступает через определенное время независимо от начальной численности, величины естественной смертности, возрастной динамики смертности и интенсивности промысла. Уровень стабилизации определяется величиной смертности: чем больше смертность, тем меньше численность стабильной популяции.

*2. Период стабилизации* популяции равен количеству возрастных групп и не зависит от начальной численности популяции, величины и возрастной динамики смертности.

*3. Условия стабилизации.* Расчеты показывают, что достаточным условием стабилизации является постоянство пополнения и неизменность смертности на протяжении периода, равного предельному возрасту особи в популяции.

Управление эксплуатируемыми запасами рыб требует постоянного наблюдения за текущим состоянием популяции и оценки степени ее стабильности по следующим критериям:

**Критерий 1.** В стабильной популяции численность каждой более старшей возрастной группы должна быть больше, чем смежной с ней более младшей. Данный критерий вытекает из положения о том, что в стабильной популяции кривая населения тождественна кривой выживания, когда с увеличением возраста рыбы численность может только уменьшаться.

**Критерий 2.** В стабильной популяции соотношение численностей смежных возрастных групп должно соответствовать смертности. Следовательно, для того чтобы определить, находится ли популяция в стабильном состоянии, необходимо знать коэффициент смертности.

**Критерий 3.** В том случае, когда неизвестна величина смертности, признаком стабильности может быть стабильность кривых населения: популяция может рассматриваться как стабильная, если ее кривые выживания параллельны в два смежных года. Этот критерий является очень удобным, т. к. не требует знания абсолютной численности популяции

## Вопросы для самоконтроля

- 1) Возрастная структура улова
- 2) Стабильная популяция
- 3) Закономерности стабилизации численности популяции
- 4) Критерии стабильности популяций

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибает, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибает С.В. – СПб.: «Прспект 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 рыболова  
<http://www.booksgid.com/loadbook/6268>



## Лекция №5

### КЛАССИФИКАЦИЯ ОРУДИЙ РЫБОЛОВСТВА

История развития орудий рыболовства уходит своими корнями в глубокую древность. Предполагают, что первые орудия лова были сходны с орудиями охоты и имели вид копий, острог, крючьев. По-видимому, и этот же период стали применяться орудия лова из дерева и других естественных материалов — различного рода преграды и ловушки. Лишь за несколько тысячелетий до новой эры были построены первые сетные орудия лова из волокнистых материалов.

Их появление можно считать важнейшей вехой в развитии рыболовства. В работах древнегреческих и римских авторов содержится довольно полное описание рыболовства в древности и, в частности, упоминается применение сачков, сетей и неводов.

До XV-XVI вв. рыбу ловили лишь во внутренних водоемах и у побережья морей в основном удочками, ставными и плавными сетями, сачками, подъемными сетями, закидными неводами и мелкими ловушками. Новая эра в развитии рыболовства наступила в XVI-XVII вв., когда рыбаки на небольших судах стали выходить в море. Развитие рыболовства в открытом море привело к созданию таких орудий лова, как дрейфтерные сети, кошельковые невода, тралы. Важнейшими из них являются тралы, которые появились в конце 30-х годов прошлого века. К середине XIX в., по существу, были известны все виды сетных орудий лова, которые составляют основу современного промышленного рыболовства. С тех пор развитие промышленного рыболовства шло в основном по пути совершенствования судов, механизации лова, применения гидроакустической аппаратуры, новых рыболовных материалов, увеличения размеров орудий лова и улучшения их конструкции, применения физических полей для оптимизации рыболовства. Кроме того, начало интенсивно развиваться биотехническое направление, предусматривающее использование данных о рецепции, ориентации, поведении и распределении объектов лова и взаимодействии его с орудиями.

Действие всех типов орудий лова заключается в создании некоторой «зоны удерживающего действия», попав в которую рыба не имеет возможности уйти и, таким образом, отлавливается. Удерживающая зона создается различными способами. Так, у трала это часть мотни, создающая механическую преграду; у рыбонасосных орудий - это зона принудительного всасывания рыбы, у крючковых — крючок.

Рыба попадает в зону удерживающего действия в результате:

- 1) управления самим орудием лова (т. е. изменения его размеров и формы, конструкции, а также положения в водоеме);
- 2) управления объектом лова — привлечением рыбы к удерживающей зоне или отпугиванием ее из других зон (привлечение на свет, отпугивание крылом ловушки или электроподборой).

Таким образом, в результате управления орудием и объектом лова рыба в процессе лова должна попадать в зону удерживающего действия (облова) орудия и оставаться в ней.

Научная классификация орудий рыболовства

В современном рыболовстве используется огромное многообразие орудий рыболовства, поэтому без их классификации оказывается практически невозможным анализ и управление промыслом.

Наиболее простые классификация исходят из учета материалов, из которых изготовлены орудия лова, способа лова и улавливания рыбы. По материалу выделяют сетные орудия лова, крючковые и прочие; по способу улавливания рыбы — отцеживающие и объеживающие; и, наконец, по способу применения — активные и пассивные.

В наиболее законченном виде классификация рыболовных орудий разработана А. И. Трещевым. Она основана на анализе конструкций рыболовных орудий и принципов их действия и представляет собой трехуровневую систему. Выделяются классы орудий, внутри классов — группы, внутри групп — виды. Классы характеризуют принципы лова, обозначаются римскими цифрами (под принципом лова понимается сущность действия (или действий), которое необходимо произвести, чтобы сделать рыбу доступной для человека). Группы характеризуют способы осуществления принципов лова, обозначаются буквами латинского алфавита. Виды характеризуют главные особенности конструкций орудий лова и способы их применения, обозначаются арабскими цифрами.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Краткая история развития орудий рыболовства
- 2) Научная классификация орудий рыболовства

### **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. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
2. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №6

### ПАРАМЕТРЫ РЫБОЛОВСТВА

Эффективность ведения рыболовства, характер его воздействия на эксплуатируемые запасы определяются двумя типами параметров — параметрами используемого орудия лова и параметрами промысла. Первые являются свойством самого орудия, в то время как последние зависят как от конструктивных особенностей орудия, так и от характера его применения, представляют собой результаты промысла.

Орудия лова характеризуются следующими параметрами: размерами, селективностью, коэффициентом уловистости и единицами, в которых выражаются величины промысловых усилий. Сам промысел описывается продолжительностью лова, промысловой мощностью, интенсивностью лова и суммарным промысловым усилием.

Размеры орудия определяют зону его действия (облова). Под зоной действия понимается площадь или объем, облавливаемый орудием за единицу времени или за один цикл облова. Для каждого класса орудия лова существуют различные размерные характеристики, определяющие зону действия. Так, для донного трала — это расстояние между траловыми досками, для разноглубинного трала — расстоянием между концами крыльев, для ставного невода — длина крыла. Если известны площадь облова или обловленный объем, то по величине улова легко может быть определена концентрация рыбы.

Уловистость — способность орудия лова удерживать рыбу и другие ловимые объекты.

Уловистость определяется:

- конструкцией орудия лова;
- степенью его активности (активные орудия обычно более уловисты, чем пассивные);
- поведением рыбы (в период активности, образования плотных косяков уловистость повышается);
- способом применения орудия (по месту, времени, правильностью использования и т. п.)

Уловистость орудий характеризуется коэффициентом уловистости.

Коэффициент уловистости  $q$  — отношение числа пойманных рыб ( $Y_N$ ) к их количеству, находившемуся в зоне действия орудия лова ( $N$ ):

$$q = Y_N / N \quad 0 \leq q \leq 1$$

Коэффициент уловистости изменяется в пределах от нуля до 1. В зависимости от конструктивных особенностей коэффициент уловистости может изменяться для донных тралов в пределах 0,3-0,6, разноглубинных тралов 0,2-0,4, закидных неводов — 0,1-0,4.

Уловистость пассивных орудий, например ставных сетей, напрямую определить невозможно. Это связано с тем, что для пассивных орудий зона действия определяется не самим орудием, а тем расстоянием, с которого рыба способна к нему подойти за определенный промежуток времени.

Практическое определение коэффициента уловистости оказывается чрезвычайно трудным по нескольким причинам:

1) трудно определить количество рыб, попавших в зону облова (т. е. их тоже надо было бы поймать и пересчитать, но как посчитать, например, количество рыб, которые дотронулись до сети);

2) коэффициент уловистости очень сильно меняется в зависимости от условий, сезона, физиологического состояния рыбы и т. п. Например, на пресноводных водоемах наибольшая уловистость сетей наблюдается весной в период нерестового хода, наименьшая — летом. Для трала — осенью и зимой, во время образования концентраций и снижения активности рыбы;

3) коэффициент уловистости зависит от вида рыбы: активные виды лучше улавливаются в пассивные орудия лова, но могут избегать активных. Например, в трале наибольшая уловистость наблюдается для леща, наименьшая — для судака.

Селективность — способность орудия лова отбирать рыбу разного размера.

Селективность определяется:

- для сетных орудий лова — шагом ячеи  $a$ ;
- для крючковых орудий — размером крючка.

Коэффициент селективности  $q_L$  — отношение количества пойманных рыб длиной  $L$  к максимальному количеству пойманных рыб, имеющих некоторую оптимальную длину  $L_0$ .

Кривая (огива) селективности — кривая, описывающая зависимость селективности рыбы от ее длины.

В зависимости от способа улавливания рыбы можно выделить несколько типов кривых селективности для отцеживающих, объеживающих и крючковых орудий лова.

1. В отцеживающих орудиях лова кривая селективности определяется длиной рыбы, при которой она имеет такой максимальный обхват тела  $s$  (обычно в районе перед первым спинным плавником), что не может пройти через ячею:

$$s \geq 4a$$

Таким образом, мелкие рыбы, у которых максимальный обхват тела меньше периметра ячеи, проскакивают через ячею и не улавливаются. Все рыбы, у которых максимальный обхват тела больше периметра ячеи, полностью улавливаются.

Учитывая, что между длиной рыбы и максимальным обхватом ее тела существует прямая зависимость, не представляет труда найти оптимальный шаг ячеи  $a$ , который будет улавливать рыбу длиной  $L_c$ :

$$a = b L_c$$

где:  $a$  — шаг ячеи, мм;

$L_c$  — длина рыбы;

$b$  — видоспецифичный коэффициент.

Коэффициент  $b$  установлен для большинства промысловых рыб.

Параметр  $L_c$  носит название «длина первой поимки». Для отцеживающих орудий лова — это длина, при которой рыба уже не может пройти через ячею используемого орудия лова. Улавливаются все рыбы, имеющие длину больше либо равную  $L_c$ . В связи с тем, что фабричный шаг ячеи имеет некоторый разброс размеров, форма ячеи под нагрузкой может изменяться в процессе лова, и, наконец, рыбы одной и той же длины могут иметь несколько различный обхват тела (это особенно характерно для самок и самцов в нерестовый период), фактически кривая селективности будет иметь достаточно сложную форму. В этом случае за длину первой поимки принимается длина рыб, имеющих 50% улавливаемость по сравнению с максимальной;

2. Объячеивающие орудия лова улавливают рыбу за счет запутывания ее в ячейках или самом полотне. По способу улавливания рыб объячеивающие сети могут быть разделены на две группы.

1) одностенные (жаберные) сети улавливают рыб длиной, при которой она может пройти в ячею дальше жабр, но не проходит в районе максимального обхвата тела. Мелкие рыбы проскакивают через ячею и не улавливаются, а крупные особи имеют слишком большую голову и не могут пройти в ячею дальше жабр и запутаться. Чем больше длина рыбы отклоняется от оптимальной  $L_0$  в большую или меньшую сторону, тем меньше вероятность ее поимки. 2) двустенные и трехстенные (ряжевые) сети отличаются тем, что помимо основного сетного полотна имеют одно или два дополнительных полотна (ряжи) с более крупным шагом ячеи, которые изготавливаются из более толстой нити. Назначение этих полотен — стягивание основного полотна, в результате чего последнее образует «карманы». Кривая селективности таких сетей состоит из трех частей:

- во-первых, происходит улавливание рыбы обычным «классическим» способом, характерным для жаберных сетей;

- во-вторых, за счет стягивания сетного полотна в нем может запутываться более мелкая рыба, цепляясь зубами, жаберными крышками, лучами плавников;

- в-третьих, улавливаются более крупные рыбы, которые не могут застрять в ячее, но зато запутываются в карманах.

В результате обобщенная кривая селективности может иметь трехвершинную форму и эффективно улавливать более широкий диапазон длин рыб. Надо заметить, однако, что более эффективное запутывание рыбы в трехстенных сетях влечет за собой и большую трудность ее выпутывания, что существенно затрудняет обслуживание трехстенных сетей.

3. Селективность крючковых наживных орудий определяется способностью рыбы заглотить крючок, для чего она должна иметь достаточный размер рта. Чем крупнее рыба, тем легче она может заглотить крючок, и, следовательно, в определенном диапазоне длин рыб селективность достигает максимума. Можно предположить, что слишком крупные рыбы будут слабее реагировать на определенный размер крючка и наживки и их уловистость уменьшится. Таким образом, левая часть кривой селективности крючковых снастей будет сходна с кривой, характерной для отцеживающих орудий, а правая — иметь нисходящую форму.

Время лова  $T_F$  в зависимости от вида промысла и применяемых орудий лова может характеризоваться различными показателями — числом часов лова, тралений, заматов или постановок орудий лова, дней лова, дней пребывания в районе промысла, дней отсутствия в порту. Конкретный показатель времени лова выбирается исходя как из класса орудия, так и доступности информации, но в любом случае время лова является показателем интенсивности промысла.

*Промысловая мощность (Fishing power)  $W_F$*  — объем воды или площадь водоема, которая облавливается данным типом орудия или видом промысла за единицу времени. Этот показатель характеризует технические возможности добывающего комплекса с точки зрения характера воздействия на рыбные запасы и оценки эффективности промысла.

Промысловое усилие (Fishing effort)  $f$  — количество усилий, затрачиваемых на ведение промысла.

В идеальном случае промысловое усилие может быть рассчитано как произведение промысловой мощности на время лова

$$f = T_F W_F.$$

В реальных условиях применение данной формулы не всегда возможно. Это связано с трудностью точной оценки размерных характеристик орудий лова, применяемых многочисленными пользователями.

В связи с этим единицами промыслового усилия могут выступать различные показатели, специфичные для тех или иных типов орудий лова и видов промысла. Наиболее часто единицами усилия выступают время лова и количество единиц орудий.

*Улов на усилие* CPUE (Catch per Unit Effort)  $Y/f$ — отношение величины улова к усилию, затрачиваемую на его добычу.

Показатель улова, приходящийся на единицу промыслового усилия является важнейшей характеристикой системы запас-промысел.

1. Этот показатель определяет экономическую эффективность ведения промысла с точки зрения оценки его рентабельности. В том случае, когда стоимость улова, приходящегося на единицу промыслового усилия, будет меньше, чем стоимость единицы усилия, промысел вступает в фазу экономического перелома и прекращается.

2. Улов на усилие может выступать некоторым индексом численности запаса. Чем больше величина запаса, тем больше будет концентрация рыбы и тем больше ее будет отловлено единичным усилием. Таким образом, в условиях установившегося промысла слежение за тенденциями динамики уловов на усилие позволяет судить о динамике самого запаса. В отличие от океанического рыболовства, метод представления промысловых усилий в виде объема воды, облавливаемого орудием, на внутренних водоемах имеет меньшее значение. Это связано как с доминированием здесь пассивных орудий рыболовства, для которых данная характеристика согласно существующей методике рассчитывается аналоговым методом, так и с малыми глубинами, в результате чего на величину улова в значительной большей степени влияет обловленная площадь, но не обловленный объем.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Параметры промысла.
- 2) Селективность.
- 3) Уловистость.
- 4) Параметры орудий лова.
- 5) Параметры рыболовства.

### 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. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
2. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №7

### ПОНЯТИЕ О ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРАХ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОПУЛЯЦИИ. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОПУЛЯЦИИ

Любой промысел направлен на эксплуатацию продукционных свойств некоторой популяции рыбы. Поэтому для организации рационального рыболовства необходимо оценить основные популяционные характеристики и выяснить, каким образом на них влияет рыболовство. Напомним, что в промысловой ихтиологии главным фактором, определяющим динамику популяций, принимается промысел. Все остальные биотические и абиотические факторы учитываются, как правило, лишь в той степени, в которой они могут повлиять на результаты рыболовства или прогноз вылова.

*Параметры* - это некоторые показатели (или константы), которые описывают исследуемую популяцию.

Популяционные параметры подразделяются на две группы - статические и динамические. Статические параметры характеризуют величину состав и структуру популяции, а динамические - характер динамики популяции во времени.

*Статические параметры* характеризуют состояние популяции в некоторый момент времени. Их можно «увидеть», измерить, определить.

Например, проведя контрольный облов на водоеме, мы получаем возможность определить плотность популяции, рассчитать величину (численность или биомассу) популяции, а также размерный или возрастной состав - численность или биомассу отдельных размерных или возрастных групп. Соотнеся численности или биомассы особей, сгруппированных по какому-либо признаку, можно оценить тот ли иной вид структуры.

*Величина популяции* в промысловой ихтиологии характеризуется численностью  $V_N$  и биомассой  $V_w$ . Для удобства в дальнейшем суммарную

численность и ихтиомассу популяции будем обозначать как  $V_N$  и  $V_w$ , а численность и биомассу отдельных возрастных групп - как  $N_i$  и  $B_i$ .

Величина является важнейшим популяционным параметром, и на ее рценку направлены усилия научных организаций, обеспечивающих расчет общих допустимых уловов.

Состав - это совокупность элементов, образующих рассматриваемую систему - популяцию.

а) *Качественный состав* - список групп особей, составляющих популяцию, объединенных по какому-либо признаку. Наиболее часто применяют следующие признаки, характеризующие качественный состав популяции: размеры рыб ( $L$ ); возраст рыб ( $t$ ); пол ( $S$ ); стадии зрелости ( $Z$ ).

б) *Количественный состав* - численность или биомасса отдельных групп популяции.

В соответствии с описанными типами качественного состава каждая из выделенных градаций может характеризоваться определенным количественным показателем численности и ихтиомассы.

К ним относятся: *размерный состав* - численность  $N_L$  или ихтиомасса  $B_L$  отдельных размерных групп; *возрастной состав* - численность  $N_t$  или ихтиомасса  $B_t$  отдельных возрастных групп; *половой состав* - численность  $N_S$  или ихтиомасса  $B_S$  особей различных полов; *генеративный состав* - численность  $N_Z$  или ихтиомасса  $B_Z$  особей, находящихся на различных стадиях зрелости.

Наиболее важными показателями количественного состава являются промысловый запас, биомасса нерестового стада, эксплуатируемый запас.

*Структура* - это способ организации системы особей, представляющих популяцию. Структура характеризуется соотношением численностей или биомасс особей, сгруппированных по определенному признаку. При этом оказывается не важным, какова абсолютна численность или биомасса отдельных частей, имеет значение лишь соотношение между ними. В результате структура популяции описывается в виде доли или процента численности каждой из выделенных группировок по отношению к общей численности:

$$pN_i = pN_1, pN_2, pN_3 \dots pN_n; \quad pN_i = 1$$

или биомассе

$$pB_i = pB_1, pB_2, pB_3 \dots pB_n; \quad pB_i = 1,$$

где:  $i$  - номер группы;  $n$  - количество групп.

В зависимости от способа группировки представляется возможным выделить два типа структур - *собственная структура*, характеризующая способ организации изолированной популяции, и *экологическая структура*, которая проявляется в процессе взаимодействия популяции с окружающей средой.

*Собственная структура* характеризует способ организации популяции, изолированной от внешней среды. В результате признаки, по которым осуществляется группировка особей, присущи им сами.

Возможны сложные виды структур, связанные с двумя признаками - размерно-возрастная, половно-возрастная.

Экологическая структура обусловлена дифференциацией особей по различиями их экологических свойств. Несмотря на все многообразие отношений, существующих в экосистемах водоемов, экологическая структура может быть сведена к нескольким наиболее важным: пространственная структура, временная структура, эколого репродуктивная структура, трофическая структура, промысловая структура.

Сами по себе статические параметры не остаются постоянными, а изменяются во времени. Так, появление в одном году урожайного поколения молоди влечет за собой изменение, как количественного состава, так и всех видов структур. Скорость этих изменений описывает вторая группа параметров, которые называются динамическими. В свою очередь динамические параметры подразделяются на две группы.

*Динамические параметры, измеряемые в единицах скорости.* Это четыре параметра, используемые в уравнении Рассела:

- 1) рождаемость  $R$  (пополнение) - скорость появления новых особей в популяции;
- 2) смертность  $M$  - скорость уменьшения численности популяции во времени;
- 3) рост  $G$  - скорость увеличения (или уменьшения) массы особей во времени;
- 4) вылова  $F$  - скорость уменьшения численности популяции под воздействием.

*Динамические параметры, выражаемые как эффект динамического процесса,* происшедшего в течение определенного периода времени (сутки, месяц, год):

1) продукция  $P$  - суммарный прирост массы всех особей популяции за определенный промежуток времени;

2) улов  $Y_N, Y_W$  - суммарная численность или масса особей, изъятых промыслом из популяции за определенный промежуток времени.



## Вопросы для самоконтроля

- 1) Структура популяции.
- 2) Статистические параметры популяции.
- 3) Динамические параметры популяции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шibaев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шibaев 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая промышленность, 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 промышленность, 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 рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №8

### ПРОМЫСЛОВАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ

Описание популяции, которая подвергается воздействию промысла (эксплуатируется), существенно отличается от общебиологического. Младшевозрастная часть популяции обеспечивает пополнение ее молодь, но сама непосредственно в промысле не участвует. Молодь обычно обитает в местах, отличных от биотопов, к которым приурочена крупная рыба, и, следовательно, для оценки ее численности необходимы специальные методы исследования и орудия лова. Кроме того, численность молоди подвержена очень резким колебаниям в связи с воздействием различного рода факторов как биотического, так и абиотического характера, поэтому, даже зная численность молоди, трудно установить ее влияние на величину уловов. Все это приводит к тому, что исследования младшевозрастной части популяции имеют самостоятельный характер и при анализе рыболовства и его регулировании к рассмотрению не принимаются.

Другая часть популяции, представленная более крупной рыбой, также неоднородна с точки зрения взаимоотношений с промыслом. В зависимости от селективных свойств, применяемых орудий лова рыба может либо проходит через ячею отцеживающих орудий, либо улавливаться, если ее размеры для этого достаточны. Еще более сложная картина наблюдается при использовании объеживающих орудий - старшевозрастная часть популяции разбивается на три группировки: мелкие особи, которые проходят через ячею; особи средних размеров объеживаются и улавливаются, а крупные особи не могут объеживаться и избегают поимки.

Таким образом, простая оценка общего запаса рыбы, без знания его возрастной или размерной структуры, еще не может обеспечить правильного понимания взаимодействия популяции и промысла, а также оценку результатов последнего. Именно поэтому в промысловой ихтиологии и применяется специальная терминология для описания эксплуатируемых популяций.

*Общий запас (TSB - Total stock Biomass, TSN- Total stock Number)*- численность или биомасса популяции в пределах водоема или промыслового района.

*Предельный возраст  $t_\lambda$*  - предельный возраст жизни рыбы в промысловой стадии. Фактически он может быть принят равным тому возрасту, до которого доживают наиболее старые особи вида.

Общий запас подразделяется на несколько частей, границы которых определяются возрастом достижения рыбой определенного состояния.

*Возраст пополнения  $t_r$*  - это тот возраст, в котором рыба впервые вступает в промысловое стадо и может быть отловлена. Он определяется биологическими особенностями вида и связан с переходом молоди к образу жизни взрослых рыб. В этом возрасте молодь мигрирует в районы, где обитают взрослые рыбы, переходит на питание, характерное для взрослых рыб (обычно происходит переход с планктонного на бентосное питание или хищничество), совершает вместе с ними определенные миграции и теоретически может быть отловлена.

*Промысловый запас (стадо) (Stock,  $B_N$ ,  $B_W$ )* - часть популяции рыбы, которая присутствует в районе промысла и теоретически может быть отловлена. Промысловый запас ограничен интервалом возрастов  $t_r$  и  $t_\lambda$ .

*Поклоение (когорта)* - рыбы, родившиеся в одном году - одновозрастные особи, возрастная группа.

*Пополнение R*- рыбы одного поколения, которые, достигнув возраста  $t_{\sim}$ , вступают в промысловое стадо, становятся доступны для промысла и теоретически могут быть отловлены. Однако фактически рыбы изымаются промыслом не сразу с возраста  $t_r$ , а несколько позже, тогда, когда в зависимости от селективности орудий лова (обычно шага ячеи) они достигнут такого размера, что не смогут проходить через ячею.

*Возраст вступления в эксплуатацию  $t_c$  (возраст первой поимки)* - минимальный возраст, начиная с которого рыба оказывается подверженной воздействию промысла и присутствует в уловах. Он определяется морфологическими особенностями вида, характером промысла и селективностью используемых орудий лова.

*Эксплуатируемый запас (стадо) (Fishery stock Biomass)* может выражаться в численности *FSN* или биомассе *FSB*. Это - часть промыслового запаса, которая фактически облавливается. Он ограничивается возрастом начала эксплуатации  $t_c$  и предельным возрастом жизни рыбы  $t_{\lambda}$ .

*Неэксплуатируемый запас (стадо) (Non-Fishery Stock Biomass)*- часть промыслового запаса, выраженная в численности (*NSN*) или биомассе (*NSB*), которая в связи со сложившейся селективностью промысла фактически не облавливается. Он ограничивается возрастом  $t_r$  пополнения и возрастом начала эксплуатации  $t_c$ . В зависимости от цели неэксплуатируемый запас *NFS* может выражаться в численности (*NFN*) или биомассе (*NFB*).

*Возраст созревания  $t_s$*  - возраст, в котором рыбы становятся половозрелыми. Созревание у всех особей поколения происходит не одновременно и растягивается на несколько лет. Поэтому часто бывает целесообразным выделить возраст начала созревания  $t_{s0}$ . Обычно за возраст созревания принимается возраст, при котором половозрелыми становятся 50 % особей.

*Нерестовое стадо (Spawning Stock Biomass SSB, SSN)* - часть популяции, которая участвует в процессе воспроизводства и ограничена возрастными  $t_s$ -  $t_{\lambda}$ .

### Вопросы для самоконтроля

- 1) промысловая структура популяции.
- 2) параметры промысловой структуры популяции.

### 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. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
2. **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.
3. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №9

### ЧИСЛЕННОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ И МЕТОДЫ ЕЁ ОЦЕНКИ

Необходимым условием ведения рационального рыболовства на водоемах является знание состояния сырьевой базы, или промысловых запасов рыб. Оценка запасов является весьма сложным и достаточно дорогостоящим мероприятием, и точность оценки зависит не только от правильности применяемых методик, но в не меньшей степени от специфики конкретного водоема и изучаемого вида рыбы. Не случайно в большинстве промысловых водоемов России, а также в морях и океанах формировались свои собственные методы и приемы оценки запасов рыб, которые лишь базируются на некоторых общих принципах.

С общеэкологической позиции популяцию принято оценивать ее величиной. В зависимости от задач исследования, методических приемов и технических возможностей величина популяции описывается двумя группами показателей - абсолютными и относительными.

#### 1. Абсолютные показатели

1.1. Абсолютная численность ( $B_N, N$ ) - количество особей популяции в пределах ареала, водоема или промыслового участка. Единицы измерения - экз., тыс. экз., млн экз.

1.2. Биомасса популяции ( $B_w, B$ ) - суммарная масса всех особей популяции. Единицы измерения - кг, т.

#### 2. Относительные показатели

Относительные показатели являются в значительной степени производными абсолютных показателей.

2.1. Плотность, или концентрация - характеризует величину популяции, отнесенную к единице пространства (площади  $B_N/S, B_w/S$  или объема  $B_N/V, B_w/V$ ). Единицы измерения - экз/м<sup>2</sup>, экз/м<sup>3</sup>, кг/га.

2.1.1. Экологическая плотность - численность или биомасса, приходящаяся на единицу обитаемого пространства, т. е. площади или объема, которые фактически могут быть заняты популяцией.

2.1.2. Относительная плотность - это величина, характеризующая плотность одной популяции относительно другой.

2.2. Относительная численность. Относительная численность (или индекс численности,  $b_N, b_w$ )- характеристика, наиболее широко применяющаяся в ихтиологии. Под относительной численностью понимается некоторая величина, пропорциональная абсолютной численности, когда коэффициент пропорциональности неизвестен. Показатели относительной численности:

1. Улов, приходящийся на единицу промыслового усилия (или «улов на усилие»  $Y_N/F, Y_w/F$ ). Для разных орудий лова может выражаться в следующих показателях:

1.1. трал - улов на час траления;

1.2. невод - улов на одно притонение;

1.3. сеть - улов за сетесутки (улов на 100 м сети за сутки);

1.4. ярус - улов на 100 крючков за сутки;

1.5, ловушки - улов на одну ловушку за сутки.

2. В целом для промысла: улов на 1 судно, на 1 л. с., на 1 рыбака, среднесуточный улов.

3. Концентрация пелагической или донной икры.

#### 4. Концентрация кормовых организмов.

Существующие подходы к оценке абсолютной численности рыб можно разделить на несколько групп, различающихся той первичной информацией, которая кладется в основу метода. В самом общем виде их можно разделить на методы прямой оценки численности и косвенные методы.

Обычно методы прямого учета более просты в теоретическом и методическом плане, но отличаются значительной трудоемкостью. Косвенные методы, как правило, оперируют сложным математическим аппаратом, но используют более простые и доступные источники информации.

4.5.2.1. Тотальный учет. Суть подхода: просчитываются все особи популяции.

4.5.2.2. Выборочный учет. Аналоги названия: метод площадей, метод пробных площадок, метод траловых и неводных учетных съемок.

4.5.2.3. Метод мечения. Суть метода: из популяции отлавливают часть особей, метят их тем или иным способом, а затем выпускают обратно в водоем.

4.5.2.4. Метод накопленного улова. Суть метода: проводятся последовательные обловы водоема (или участка). Каждый улов снижает численность оставшихся особей и тем самым влечет за собой уменьшение последующих уловов. По скорости снижения уловов можно определить начальную численность популяции

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Показатели численности популяции.
- 2) Подходы оценки численности рыб.

### 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №10

### СМЕРТНОСТЬ РЫБ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Смертность* - уменьшение численности рыб под воздействием различных **причин**.

Процесс убыли может характеризоваться тремя показателями - и виде мгновенных коэффициентов смертности, действительных коэффициентов смертности и коэффициента выживания.

Мгновенный коэффициент смертности  $Z$  — характеризует скорость уменьшения численности рыб за элементарный промежуток времени. Он используется в дифференциальной форме уравнения Баранова как коэффициент пропорциональности:

$$\frac{dN}{dt} = -ZN,$$

$$Nt = N_0 e^{-Zt}.$$

Пусть  $N_{t1}$  — численность рыб в момент времени  $t_1$

$$N_{t_1} = N_0 e^{-Zt_1}$$

и  $N_{t2}$  — соответственно численность рыб в момент времени  $t_2$

$$N_{t_2} = N_0 e^{-Zt_2}$$

Разделив уравнение и проведя преобразования, получаем

$$Z = \frac{-\ln \frac{N_{t_2}}{N_{t_1}}}{t_2 - t_1}.$$

Единицы измерения мгновенного коэффициента смертности  $Z$  - 1/время (сутки, месяц, год) или время.

Величина  $Z$  может изменяться от нуля (когда рыба вообще не гибнет) до бесконечности.

Действительный коэффициент смертности  $\phi_Z$  показывает вероятность гибели рыб в течение определенного промежутка времени. Численно он равен доле или проценту рыб, погибших за определенный период по отношению к начальной численности. Аналогично для единичного промежутка времени, действительный коэффициент смертности будет равен

$$\phi_Z = 1 - \frac{N_{t+1}}{N_t}.$$

*Коэффициент выживания*  $S$  — это величина, дополняющая действительный коэффициент смертности до единицы. Показывает, какая часть рыб остается в популяции (выживает) к определенному моменту времени. Формула расчета

$$\phi_Z = \frac{N_{t+1}}{N_t}.$$

Единицы измерения — доли или проценты. Пределы изменения — от нуля до единицы. Все показатели смертности могут определяться как для отдельных возрастных групп, так и для популяции целом.

*Связь между показателями смертности.*

Математическое выражение связи между действительными, мгновенными коэффициентами и коэффициентом выживания. Для удобства примем, что

рассматривается изменение численности одного поколения за единичный интервал времени от  $t = 0$  до  $t + 1$ , например за один год. В этом случае необходимые зависимости могут быть легко найдены из уравнения Баранова:

$$N_t = N_0 e^{-Zt}, \quad 6$$

$$N_{t+1} = N_0 e^{-Z(t+1)} = N_0 e^{-Zt} e^{-Z} = N_t e^{-Z}, \quad 7$$

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z}, \quad 8$$

$$\frac{N_{t+1}}{N_t} = e^{-Z}, \quad 9$$

$$Z = -\ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right), \quad 10$$

$$\varphi_z = \frac{N_t N_{t+1}}{N_t} = 1 - \frac{N_{t+1}}{N_t}, \quad 11$$

$$\varphi_z = 1 - e^{-Z}, \quad 12$$

$$S = 1 - \varphi_z = 1 - 1 - \frac{N_{t+1}}{N_t} = \frac{N_{t+1}}{N_t} = e^{-Z}, \quad 13$$

$$S = e^{-Z}. \quad 14$$

Как видно, уравнение (10) дает выражение мгновенного коэффициента смертности через численность, уравнение (12) — действительного коэффициента смертности, а (14) — коэффициента выживания через мгновенный коэффициент смертности. На практике это позволяет легко определять один из показателей смертности через другой, который уже известен.

*Виды смертности.*

Смертность подразделяется на естественную  $M$  (*mortality*) и промысловую  $F$  (*fishery*). Сумма естественной и промысловой смертности составляет общую смертность  $Z$ .

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Показателями смертности
- 2) Связь между показателями смертности.
- 3) Связь между показателями смертности.

### 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. **Аксюткина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксюткина - М.: Пищевая пром-

- ть, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
  3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
  4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая пром-ть, 1976. - 238 с.
  5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
  6. **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.
  7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>



## Лекция №11

### ЕСТЕСТВЕННАЯ СМЕРТНОСТЬ. ПОНЯТИЕ СМЕРТНОСТИ. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ, ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В наиболее общем случае естественная смертность определяется как смертность, обусловленная воздействием всех причин, кроме промысла. Выделяются несколько групп факторов, определяющих естественную смертность. К ним относятся:

- 1) смертность от воздействия неблагоприятных абиотических условий;
- 2) смертность от нарушения обеспеченности пищей;
- 3) смертность от воздействия хищников, паразитов и болезней;
- 4) смертность от старости.

Неблагоприятные абиотические условия могут воздействовать на интенсивность гибели как напрямую, так и опосредованно. Прямое воздействие имеет место в результате выхода показателей среды за пределы зоны толерантности рассматриваемого вида. К числу таких показателей можно отнести температуру, соленость, содержание кислорода и т. п.

Непрямое воздействие осуществляется в связи с изменением интенсивности действия биотических факторов (концентрации корма, развития паразитов), которые, в свою очередь, зависят от абиотических условий среды.

Смертность от нарушения обеспеченности пищей может наблюдаться в весьма редких критических случаях, т. к. обычно ответной реакцией большинства организмов на снижение количества пищи является уменьшение темпа роста. Для рыб такой вид смертности наиболее характерен для личиночных стадий развития и в особенности в период перехода на смешанное питание.

Гибель особей в результате воздействия хищников и паразитов помимо наличия этих компонентов экосистемы определяется и собственными параметрами популяции:

- численностью, т. к. увеличение плотности способствует большей элиминации хищниками и более эффективной передаче болезней;
- биологическими показателями особей: чем лучше состояние рыб (темп роста, упитанность), тем выше их устойчивость;
- возрастом особей: воздействие хищников, паразитов и болезней в большинстве случаев наиболее интенсивно проявляется в определенные периоды жизни особей.

Смертность от старости обуславливается наличием для каждого вида некоторой максимально возможной продолжительности жизни. В природных условиях до возраста, близкого к максимальному, доживает ничтожно малая доля особей, но знание его является необходимым для решения многих вопросов, связанных с динамикой популяций.

#### *Зависимость естественной смертности от возраста особей*

Величина естественной смертности оказывается чрезвычайно важным параметром, который помимо динамики популяции в целом определяет соотношение между отдельными ее частями, обуславливающими структуру популяции — размерную, возрастную, половую и промысловую. Характер структуры стада будет зависеть от связи между возрастом особи и ее естественной смертностью.

Теоретически возможны четыре варианта таких соотношений:

- 1) естественная смертность не зависит от возраста;

- 2) естественная смертность уменьшается с возрастом в результате, например, повышения устойчивости организмам к воздействию неблагоприятных факторов среды и хищников;
- 3) смертность увеличивается с возрастом вследствие старения особей;
- 4) возрастные изменения смертности имеют более сложную форму.

*Естественная смертность не зависит от возраста*

В самом простом случае можно предположить, что естественная смертность не зависит от возраста рыб  $M = const$ . В этом случае согласно уравнению Баранова скорость изменения численности будет описываться как

$$\frac{dN}{dt} = -MN, \quad N = N_0 e^{-Mt}$$

и численность в любой момент времени будет определяться соотношением.

Логарифмируя полученное выражение

$$\ln N = \ln N_0 - Mt,$$

приходим к линейной зависимости логарифма численности от возраста

$$y = a - ax.$$

*Естественная смертность уменьшается с возрастом*

Предположим наиболее простой вариант, что смертность линейно зависит от возраста особи и описывается функцией

$$M = m_0 - m_1 t; \quad M > 0,$$

где:  $m_0$  — коэффициент, численно равный начальной смертности при  $t = 0$ ;

$m_1$  — коэффициент, определяющий скорость изменения скорости с возрастом.

Такое допущение можно принять, например, если учесть, что с возрастом повышается сопротивляемость организма к воздействию внешних факторов.

В этом случае динамика численности будет описываться дифференциальным уравнением. Решая его, получаем уравнение численности в любой момент времени.

В результате получим типичное уравнение параболы, описывающей кривую выживания популяции:  $y = a_0 - a_1 x + a_3 x^2$ .

На графике это уравнение будет представлено вогнутой нисходящей ветвью.

*Естественная смертность увеличивается с возрастом*

В этом случае возрастная динамика смертности также может быть описана линейным уравнением с положительным значением коэффициента  $m_1$

$$M = m_0 + m_1 t; \quad M > 0.$$

Такое предположение может быть допущено, потому что с возрастом организм стареет и становится менее жизнеспособным.

На графике это уравнение будет представлено выпуклой нисходящей ветвью.

*Зависимость естественной смертности от численности популяции*

Внутрипопуляционные и биоценотические механизмы обеспечивают поддержание численности популяции на определенном уровне. Увеличение численности может сопровождаться снижением относительной обеспеченности пищей отдельных особей, повышением эффективности передачи болезней и в общем приводит к увеличению естественной смертности. Аналогичным образом снижение численности, которое, кстати, может происходить под воздействием как естественных причин, так и промысла, ведет к обратным результатам.

В самом простом случае зависимость величины естественной смертности от численности популяции может описываться линейным уравнением а сама динамика численности опишется уравнением Баранова

$$\frac{dN}{dt} = (\mu_1 + \mu_2 N)N.$$

Очевидно, что для определения зависимости величины естественной смертности от численности необходим ряд наблюдений за этими параметрами. Исследования такого направления очень сложны и ведутся в настоящее время преимущественно применительно к оценке смертности молоди. Несмотря на это, некоторый эффект изменения естественной смертности под воздействием промысла может быть оценен через свойство аддитивности.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Зависимость естественной смертности от численности популяции.
- 2) Зависимость естественной смертности от возраста особей.

### 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №12

### ПРОМЫСЛОВАЯ СМЕРТНОСТЬ. ПОНЯТИЕ ПРОМЫСЛОВОЙ СМЕРТНОСТИ И СПОСОБЫ ЕЕ ВЫРАЖЕНИЯ

Под промысловой смертностью понимается уменьшение численности рыб под воздействием промысла. Это процесс может описываться несколькими способами.

С одной стороны, промысловая смертность может выражаться через изменение численности рыб, с другой - промысловая смертность может описываться как функция интенсивности промысла.



*Мгновенный коэффициент промысловой смертности  $F$*  выступает как коэффициент пропорциональности, связывающий скорость изменения численности за элементарный промежуток времени с показателем численности в данный момент времени:

$$\frac{dN}{dt} = -FN$$

Единица измерения — время<sup>-1</sup>.

Пределы — от нуля (когда промысел не ведется) до бесконечности.

*Действительный коэффициент промысловой смертности  $\phi_F$*  — количество погибших в результате вылова особей за некоторый промежуток времени, отнесенный к их начальной численности. Если начальная численность составила  $N_0$  особей, а вылов за рассматриваемый период достиг величины  $Y_N$  то действительный коэффициент промысловой смертности будет определяться выражением

$$\phi_F = \frac{Y_N}{N_0}$$

Единицы измерения — доли или проценты. Пределы — от нуля до единицы.

Если известен действительный коэффициент промысловой смертности, то не представляет труда найти величину промыслового запаса

$$N_0 = \frac{Y_N}{\phi_F}$$

Неслучайно поэтому важнейшей задачей промысловой ихтиологии является оценка промысловой смертности и сбор статистических материалов по величине вылова.

*Интенсивность лова I* выражается в любых единицах, которые характеризуют усилие, прилагаемое для добычи рыбы, например, количество судов, рыбаков, орудий лова, количество тралений, суммарная мощность или водоизмещение флота.

*Геометрическая интенсивность лова  $f_g$*  — отношение обловленной площади за известный промежуток времени  $t$  к общей площади водоема (или ареала популяции):

$$f_g = \frac{st}{S_0}$$

где:  $s$  — площадь одного облова (за единичный промежуток времени или за один замет или траление);  $t$  — продолжительность лова в году или количество актов облова;  $S_0$  — площадь водоема. Геометрическая интенсивность лова показывает, какая часть площади водоема облавливается промыслом за определенный промежуток времени, например год. В океаническом рыболовстве геометрическая интенсивность лова может вычисляться не через площадь, а через обловленный объем. Единицы измерения - доли или проценты.

*Элементарная интенсивность лова  $f$*  - произведение геометрической интенсивности лова  $f_g$  на коэффициент уловистости орудия лова  $q$ :

$$f = q \cdot f_g.$$

Единицы измерения — 1/время.

По своей сути этот показатель будет тождественен мгновенному коэффициенту промысловой смертности, который, однако, определяется через уменьшение численности рыб, а не через параметры промысла:

$$F = f.$$

В этом случае оказывается возможным описывать динамику численности как через мгновенный коэффициент промысловой смертности, так и через геометрическую, или элементарную, интенсивность лова:

$$\frac{dN}{dt} = -FN = -q \cdot f_g \cdot N = -q \frac{st}{S_0} N$$

*Интенсивность вылова (коэффициент эксплуатации)* и показывает степень использования запаса промыслом. Единицы измерения — доли или проценты.

Пределы — от нуля, когда промысел не ведется, до 100%, когда выловлена вся рыба.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Показатели промысловой смертности, выражаемые как функция численности рыб.
- 2) Показатели промысловой смертности, выражаемые как функция интенсивности промысла.

### 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. **Аксютина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютина - М.: Пищевая промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №13

### СВОЙСТВО АДДИТИВНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ СМЕРТНОСТИ

Рассмотренные две формы представления смертности в виде мгновенных и действительных коэффициентов характеризуют различные стороны одного и того же процесса. Мгновенные коэффициенты описывают собой скорость изменения численности рыб в любой момент времени. В связи с этим они обладают свойством аддитивности, т. е. возможности определения общего эффекта, воздействия двух компонентов смертности через их сумму:  $Z = M + F$

В этом случае доля рыб, погибших в результате воздействия всех причин - естественных и промысла (действительный коэффициент общей смертности), будет определяться как

$$\varphi_Z = 1 - e^{-(M+F)}$$

Действительные коэффициенты описывают результат влияния определенного вида смертности на численность популяции за известный промежуток времени, но их суммарный эффект не может быть определен через сумму действительных коэффициентов, действующих независимо. Для описания этого свойства введем следующие обозначения:

$\varphi_M^0$  - условный коэффициент естественной смертности, который показывает вероятность гибели рыб от естественных причин в отсутствие промысла (для девственной популяции),

$$\varphi_M^0 = 1 - e^{-M}$$

$\varphi_F^0$  - условный коэффициент промысловой смертности, который показывает вероятность гибели рыб от промысла в отсутствие естественной смертности,

$$\varphi_F^0 = 1 - e^{-F}$$

В результате общий эффект их действия будет определяться как

$$\varphi_Z = 1 - e^{-(M+F)} = 1 - e^{-M} e^{-F}$$

Проведя некоторые преобразования, приходим к оценке суммарного эффекта действия условных коэффициентов естественной и промысловой смертностей:

$$e^{-M} = 1 - \varphi_M^0; \quad e^{-F} = 1 - \varphi_F^0,$$

$$\varphi_Z = 1 - (1 - \varphi_M^0)(1 - \varphi_F^0),$$

$$\varphi_Z = \varphi_F^0 + \varphi_M^0 - \varphi_F^0 \varphi_M^0.$$

Как видно, суммарный эффект промысловой и естественной смертностей будет меньше суммы их независимых значений на величину произведения условных коэффициентов естественной и промысловой смертностей.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Эффект действия условных коэффициентов естественной и промысловой смертностей.
- 2) Условный коэффициент промысловой и естественной смертности.

## 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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 №14

### РОЖДАЕМОСТЬ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ВИДЫ. ПЛОДОВИТОСТЬ. ПОПОЛНЕНИЕ

Существование популяции рыбы во времени обеспечивается за счет постоянной замены особей, погибающих за счет различных причин, вновь рождающимися. С общеэкологических позиций процесс поступления в популяцию новых особей обозначается термином «рождаемость». В экологии рождаемость может характеризоваться тремя показателями.

*Абсолютная рождаемость (Born rate)* — показывает количество особей, родившихся (отложенных, появившихся в результате деления) в популяции за определенный промежуток времени. Обычно интервал времени принимается равным одному году.

$$B = \frac{dN_b}{dt},$$

где:  $dN_b$  — прирост численности,  $dt$  — время. Единицы измерения — экз., тыс. экз., млн экз.

*Удельная рождаемость* — характеризует количество новых особей в расчете на одного родителя.

$$b = \frac{1}{N} \frac{dN_b}{dt}.$$

Этот параметр показывает эффективность воспроизводства данной популяции. Если  $b = 1$ , то это значит, что популяция воспроизводит себя за год один раз. Единицы измерения — доли или проценты.

*Мгновенная рождаемость* — показывает скорость рождения новых особей за элементарный промежуток времени.

$$b = \frac{1}{N} \frac{dN_b}{dt}; dt \rightarrow 0.$$

Единицы измерения — время<sup>-1</sup>.

По своей сути этот показатель аналогичен мгновенному коэффициенту смертности.

В целях анализа воздействия окружающей среды на воспроизводство популяции применяются две характеристики рождаемости.

*Максимальная рождаемость*  $B_{\max}$  — это теоретический максимум скорости образования новых особей в идеальных условиях (когда отсутствуют лимитирующие экологические факторы и размножение сдерживается только физиологическими).

*Экологическая рождаемость*  $B_{\text{fact}}$  — обозначает пополнение популяции новыми особями при фактических или специфических условиях среды. Эта величина непостоянна и варьируется в зависимости как от внешних условий, так и от собственных параметров популяции.

Рождаемость описывается либо показателем плодовитости для соответствующих уровней организации — особи, популяции или вида, либо величиной пополнения.

1. *Индивидуальная абсолютная плодовитость*  $E_a$  (АИП) — количество икры, которое находится в гонадах одной самки и может быть отложено за один нерестовый сезон.

2. *Относительная индивидуальная плодовитость*  $E_w$  (ОИП) — количество икринок, приходящихся на единицу массы самки:

$$E_w = \frac{E_a}{W} .$$

3. *Видовая плодовитость*  $E_{sp}$  - это некоторая характеристика воспроизводительной способности вида, которая исходит из индивидуальной плодовитости ( $E_a$ ), периода между двумя икрометаниями ( $p$ ), возраста наступления половозрелости ( $ts$ ) и соотношения полов ( $S$ ), числа нерестов в течение жизни рыбы ( $x$ ). Имеется несколько формул расчета видовой плодовитости.

по С.А. Северцеву:

$$E_{sp} = (1 + E_a)^{\frac{1}{p^t x S}}$$

по Б. Г. Иоганзену:

$$E_{sp} = p^t \sqrt{x E_a} .$$

4. *Популяционная плодовитость*  $E_p$  - характеризует количество икры (в абсолютных или относительных единицах), которое может отложить популяция при имеющейся возрастной, половой и репродуктивной структуре. В. С. Ивлевым была предложена следующая формула расчета популяционной плодовитости на основе знания относительной численности каждой возрастной группы  $pN_t$ , доли самок  $S_F$  и среднего возраста особи в популяции  $T$ :

$$E_p = \frac{x \sum_{t=t_g}^{t=t_h} E_{a_t} pN_t \cdot \sum_{t=t_g}^{t=t_h} pN_t S_F}{100 \sum_{t=t_g}^{t=t_h} pN_t T}$$

Имеется сходная формула Г. В. Никольского, который предложил рассчитывать относительную популяционную плодовитость как количество икры, которое может быть отложено 1000 рыбами при данной возрастной структуре популяции.

Вместе с тем знание популяционной плодовитости и эффективности нереста еще не является достаточным для прогнозирования динамики численности популяции и управления ею. С момента откладки икры до вступления рыб в эксплуатацию численность поколения изменяется настолько значительно, что влияние плодовитости нивелируется действием множества других экологических факторов. В этой связи в ихтиологии вводится специальное понятие — *пополнение (recruitment)*.

В классической ихтиологии понятие пополнения связывается с процессом воспроизводства рыб.

*Нерестовая популяция SSB (Spawning Stock Biomass)* — это 1) особи, которые приходят на места нерестилищ для участия в процессе воспроизводства, или 2) особи, которые по своему физиологическому состоянию могут участвовать в нересте. Например, критерием способности к воспроизводству может служить оценка состояния половых продуктов. К половозрелым могут быть отнесены все особи, находящиеся на стадии зрелости выше второй.

*Пополнение  $R_s$*  — особи, которые впервые нерестятся.

*Остаток  $D$*  — повторно нерестящиеся особи.

Таким образом, нерестовая популяция состоит из пополнения и остатка:

$$SSB = R_s + D .$$

В свою очередь, вся популяция включает в себя группировку неполовозрелых особей  $B_{juv}$  и нерестовый запас:

$$B_{tot} = B_{juv} + SSB.$$

*Пополнение* - это особи одного, реже нескольких поколений, достигшие определенных размеров и возраста, когда они перемещаются в район промысла и могут быть отловлены. В этом возрасте:

- 1) численность поколения становится менее изменчивой, в то время как с момента выклева из икры численность личинок и молоди подвержена существенным колебаниям в зависимости от комплекса абиотических и биотических факторов;
- 2) численность может быть оценена известными методами с достаточной степенью точности;
- 3) может быть спрогнозирована величина эксплуатируемого промыслового запаса в результате вступления в него пополнения и сделан прогноз вылова.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Показатели рождаемости.
- 2) Показатели плодовитости.
- 3) Нерестовая популяция.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Шибяев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибяев С.В. – СПб.: «Прспект 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №15

### ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДУКТИВНОСТИ ПО ИКРЕ $E$ ОТ СОБСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОПУЛЯЦИИ

Под продуктивностью по икре  $E$  понимается количество икры, которое может быть отложено популяцией за один нерестовой сезон. Если популяционную плодовитость выразить в абсолютных единицах с учетом численности запаса, то показатели продуктивности по икре и популяционной плодовитости окажутся тождественны:  $E = E_p$ . Величина популяционной плодовитости будет определяться следующими параметрами: численностью самой популяции; половой структурой; репродуктивной структурой; индивидуальной плодовитостью особей и ее изменением в зависимости от возраста.

#### *Численность возрастных групп*

Численность рыб всех возрастных групп популяции будет описываться уравнением Баранова на интервале времени с момента рождения  $t=0$  до предельного возраста жизни рыбы  $t_L$ :

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

#### *Половая структура*

Половая структура популяции отражает соотношение в ней особей различных полов - самок и самцов. Очевидно, что с точки зрения оценки эффективности воспроизводства нас будет в большей степени интересовать количество самок в популяции, т. к. именно они обеспечивают тот или иной уровень продуктивности по икре. Учитывая возможность порционного нереста самцов, их численность существенной роли у рыб не играет. В популяциях рыб особи обычно рождаются с приблизительно равным количеством самок и самцов, но в течение жизни это соотношение не остается постоянным, а изменяется под воздействием ряда факторов. Наиболее важным фактором является различие в естественной смертности самок и самцов.

Рассмотрим способ описания половой структуры популяции. Предположим, что  $M_F$  - естественная смертность самок,  $M_M$  — смертность самцов. Допустим, что они родились в один и тот же момент и имели равную численность  $N_0$ :

$$N_{0F} = N_{0M} = N_0.$$

$$N_F = N_0 e^{-M_F t},$$

$$N_M = N_0 e^{-M_M t}.$$

Допустим для простоты, что естественная смертность самок и самцов не зависит от возраста, следовательно, их численность описывается уравнением Баранова:

В этом случае доля самок в любой возрастной группе составит:

$$S_F = \frac{N_F}{N_F + N_M}.$$

Производя несложные преобразования

$$S_F = \frac{N_0 e^{-M_F t}}{N_0 e^{-M_F t} + N_0 e^{-M_M t}} = \frac{N_0 e^{-M_F t}}{N_0 e^{-M_M t} (1 + e^{(M_F - M_M)t})},$$

приходим к зависимости относительной численности самок от возраста

$$S_F = \frac{1}{1 + e^{(M_F - M_M)t}}$$

Как видно, доля самок в любой возрастной группе будет определяться только разностью величин смертности самок и самцов.

#### *Репродуктивная структура*

Репродуктивная структура описывает соотношение групп в популяции, различающихся по их отношению к процессу воспроизводства. Выделяют три группы особей в популяции:

- 1) пререпродуктивная — неполовозрелая молодежь, которая не участвует в процессе воспроизводства;
- 2) репродуктивная — половозрелые особи;
- 3) пострепродуктивная — старые особи, которые по физиологическим причинам уже не способны к размножению. У рыб пострепродуктивный период встречается довольно редко.

Пострепродуктивная часть популяции имеет большое значение у млекопитающих и птиц. В популяциях низкоорганизованных животных, и рыб в частности, до возраста, при котором прекращается размножение, доживает очень небольшое количество особей.

Возраст полового созревания определяется биологическими особенностями вида и, в частности, типом экологической стратегии отбора. При r-отборе возраст полового созревания обычно уменьшается, а при K-отборе — увеличивается.

Момент полового созревания обычно бывает, связан не столько с возрастом, сколько с достижением особью определенных размеров тела. В этом случае улучшение условий обитания, например увеличение кормности, должно способствовать более быстрому созреванию и, наоборот, ухудшение условий и замедление темпа роста может способствовать более позднему вступлению в стадию половозрелости.

Предположим, что темп полового созревания определяется весовым ростом организма и происходит со скоростью, прямо пропорциональной разнице между предельным (равным, очевидно, 100%) и уже достигнутым к настоящему моменту времени количеством созревших самок  $S_s$ :

$$\frac{dS_s}{dW} = b(1 - S_s),$$

где  $b$  — коэффициент пропорциональности.

В данном случае будет больше интересовать связь темпа созревания с возрастом рыбы, которую нетрудно установить, введя в это уравнение функцию Берталанфи:

$$W = W_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0)}\right)^3.$$

Подставив 1 у-е во 2

$$\frac{dS_s}{1 - S_s} = bd \left( W_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0)}\right)^3 \right),$$

и интегрируя с начальными условиями  $t = t_s, S_s = 0$ , получаем:

$$S_s = 1 - e^{-bdW_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0)}\right)^3}.$$

Это уравнение определяет долю созревших особей в различном возрасте в зависимости от темпа весового роста рыбы, который задается параметрами  $W_\infty$  и  $K$ .

Указанный характер изменения скорости полового созревания, как правило, проявляется только в зоне толерантного для данного вида воздействия внешних

факторов. В экстремальных условиях эта общая закономерность полового созревания уже не будет соблюдаться.

Индивидуальная плодовитость особей

Изменения, происходящие в связи со старением рыбы, отражаются и на ее индивидуальной плодовитости. Как правило, с увеличением возраста и массы особи абсолютная плодовитость возрастает. Темп нарастания плодовитости может описываться двумя функциями, выбор которых определяется характером изменения относительной плодовитости особей.

Вариант 1 - относительная индивидуальная плодовитость не зависит от массы (т. е. при росте особи количество икринок, приходящихся на один грамм веса особи, остается постоянным), тогда абсолютная плодовитость описывается линейным уравнением вида

$$E_a = g_0 + g_1 W .$$

Вариант 2 - относительная индивидуальная плодовитость изменяется в связи с ростом рыбы (уменьшается либо увеличивается). В этом случае абсолютная плодовитость имеет степенную связь с массой особи

$$E_a = g_0 W^{g_1} .$$

Таким образом, описав все выделенные параметры, можно оценить продуктивность популяции по икре как

$$E = \sum_{i=t_s}^{t-l_k} N_i S_i S_{s_i} E a_i .$$

Данное уравнение позволяет построить кривую продуктивности по икре и оценить вклад каждой возрастной группы в воспроизводство популяции

В целом кривая продуктивности по икре имеет следующие особенности: вклад в популяционную плодовитость младших и старших возрастных групп очень невелик: первых — ввиду низкой индивидуальной плодовитости, вторых — из-за их низкой численности. Наибольшее влияние на плодовитость популяции оказывают несколько возрастных групп, следующих за возрастом полового созревания.

Согласно приведенному уравнению популяционная плодовитость  $E$  при прочих равных факторах (относительной неизменности индивидуальной плодовитости, половой структуры и темпа полового созревания) в наибольшей степени зависит от численности родительского стада. Поэтому, полагая, что  $E \approx V_n$ , о возможной продуктивности по икре можно судить по численности самой популяции.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Численность популяции.
- 2) Половая структура популяции.
- 3) Репродуктивная структура популяции.
- 4) Индивидуальная плодовитость особей и ее изменение в зависимости от возраста.

### 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. **Аксюткина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксюткина - М.: Пищевая промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №16

### ИНТУИТИВНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОБЛЕМЫ «ЗАПАС-ПОПОЛНЕНИЕ». ЭМПИРИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Все рассмотренные параметры, определяющие популяционную плодовитость, сравнительно просто определяются в результате стандартных ихтиологических исследований. Вместе с тем, даже зная количество икры, которое может продуцировать популяция, еще нельзя сказать, каким образом оно повлияет на численность пополнения промыслового запаса. Многочисленные исследования показали, что на фоне воздействия комплекса других биотических и абиотических факторов влияние продуктивности по икре на численность пополнения, как правило, не обнаруживается, хотя очевидно, что если производители не отложат определенного количества икры, то и молодь не появится. Отсюда встает проблема запас-пополнение, которая заключается в оценке связи между численностью родительского стада и величиной пополнения. Решение этой проблемы позволяет:

- 1) сделать прогноз мощности пополнения в зависимости от численности популяции и оценить возможный улов;
- 2) оценить безопасный уровень эксплуатации таким образом, чтобы сохранить необходимую численность родительского стада, достаточную для обеспечения нормального воспроизводства.

В истории развития промысловой ихтиологии можно выделить три подхода к исследованию проблемы запас-пополнение: интуитивный, эмпирический и моделирование.

#### *Интуитивный подход*

Интуитивный подход основывается на предполагаемых зависимостях между величиной родительского стада и потомства без анализа количественных соотношений и закономерностей, существующих в конкретных условиях.

#### *Концепция К. М. Бэра*

Исторически первую концепцию сформулировал в конце XIX в. русский ученый К. М. Бэр, который предполагал, что между величиной родительского стада и пополнением существует прямая зависимость

На основании этого предположения им были сделаны и практические выводы по вопросам оптимального регулирования рыболовства. Бэр считал, что рациональный промысел должен вестись таким образом, чтобы обеспечить каждой рыбе возможность хотя бы однократного нереста.

Следует заметить, что именно такая концепция положена в основу ныне действующих Правил рыболовства на большинстве внутренних водоемов. В них вводится такой параметр, как промысловая мера на рыбу, соответствующий длине, при которой рыба становится половозрелой. Эта мера позволяет предотвратить отлов нерестившихся особей.

Несостоятельность такого подхода заключается в том, что существует только одно равновесное состояние системы запас-пополнение, которое определяется углом наклона кривой на графике. Любое случайное изменение численности популяции приведет к неограниченному возрастанию либо к неограниченному убыванию численности пополнения. Как в том, так и в другом случае популяция никогда не вернется в исходное состояние.

#### *Концепция Ф. И. Баранова*



Противоположную концепцию выдвинул Ф. И. Баранов, который считал, что ввиду чрезвычайно высокой плодовитости рыб начальная численность молоди всегда бывает избыточна, а количество пополнения лимитируется в основном условиями ее обитания и выживания. Поэтому в довольно широких пределах изменения численности запаса численность пополнения будет оставаться на одном и том же уровне.

Эта концепция обусловила появление и специального подхода к регулированию рыболовства. Согласно Баранову промысел может вестись с любой интенсивностью, рыба может отлавливаться начиная с любого возраста, вне связи с возрастным ее созреванием. Независимо от интенсивности этого внешнего промыслового воздействия численность пополнения будет постоянной.

В этом случае степень оптимальности промысла будет определяться уже не биологическими параметрами эксплуатируемой популяции и численностью ее пополнения, а преимущественно соображениями экономической эффективности (получение наибольшей величины улова с минимальными затратами).

#### *Эмпирический подход*

Эмпирический подход исходит из составления уравнения множественной регрессии численности пополнения в зависимости от комплекса биотических и абиотических факторов, одним из которых является численность популяции. Например, может быть составлено такое уравнение:

$$R = a_0 t_0^{\theta} + a_1 H + a_2 B + \dots + a_n B_N,$$

где:  $t_0$  — средняя температура воды в период инкубации икры;  $H$  — уровень воды во время нереста;  $B$  — биомасса зоопланктона в период перехода молоди на экзогенное питание;  $B_N$  — численность запаса;  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  — эмпирические коэффициенты

Понятно, что для нахождения коэффициентов уравнения необходимы многолетние наблюдения за изменениями численности пополнения в связи с колебаниями биотических и абиотических параметров, входящих в уравнение.

Наиболее сильные связи урожайности молоди установлены со следующими факторами (Дементьева, 1976):

- уровнем режимом;
- термическими условиями в период нереста и инкубации;
- биомассой кормовых организмов, наблюдаемой во время перехода личинок на экзогенное питание.

Эмпирический подход является чрезвычайно важным при решении практических задач по оценке численности пополнения в каждом конкретном году и прогнозированию уловов. Но в то же время он не позволяет решать вопросы регулирования рыболовства в смысле определения допустимых пределов промысла для сохранения достаточного воспроизводства.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Концепция К. М. Бэра.
- 2) Концепция Ф. И. Баранова.
- 3) Эмпирический подход.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Шибаетв, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шибаетв 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. **Аксютина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютина - М.: Пищевая промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыбака <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №17

### МОДЕЛИ ЗАПАС-ПОПОЛНЕНИЕ. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОПОЛНЕНИЯ

Модели запас-пополнение основываются на формализации процесса формирования численности пополнения, начиная с ранних стадий развития. В большинстве моделей предполагается, что основное уменьшение начальной численности генерации происходит на первый год жизни под влиянием естественной смертности. В свою очередь, смертность представляется как сумма двух компонентов: депенсационной и компенсационной смертностей.

*Депенсационная смертность* - смертность, не зависящая от плотности молоди. Поскольку поколение, как правило, сосредоточено в определенном ареале, то под плотностью часто понимается численность генерации. Депенсационная смертность зависит от возраста молоди и связана со степенью ее жизнестойкости.

*Компенсационная смертность* - т. е. зависящая от плотности рыб обуславливается тремя главными причинами:

- хищничеством или каннибализмом;
- недостаточностью кормовой базы для личинок в период их перехода на экзогенное питание (критические периоды);
- темпом роста на критической стадии развития.

Все эти три фактора могут действовать как независимо, так и в различных комбинациях. В зависимости от способа математического описания воздействия данных факторов предложено две базовые модели пополнения — модель Бивертон—Холта и модель Рикера.

#### *Модель Бивертон-Холта*

Модель пополнения Бивертон-Холта исходит из предположения о том, что регуляция численности молоди осуществляется за счет факторов, зависящих от плотности, действие которых реализуется через изменение естественной смертности. Коэффициент естественной смертности линейно зависит от численности молоди:

$$M = m_1(t) + m_2(t)N,$$

где:  $m_1(t)$  -депенсационная (не зависящая от численности) смертность;

$m_2(t)$  - компенсационная составляющая смертности, учитывающая взаимосвязь особей, сконцентрированных на относительно небольших площадях.

Одной из характерных особенностей смертности на ранних стадиях жизни рыб является то, что она не остается постоянной, а изменяется по мере увеличения их возраста, т. е. коэффициенты  $m_1(t)$  и  $m_2(t)$  будут изменяться на протяжении всех этапов развития и существования поколения. Такое определение смертности предполагает, что плотностная регуляция численности может осуществляться посредством пищевой конкуренции внутри генерации. В этом случае уравнение связи запас—пополнение имеет следующий вид:

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

где:  $R$  — численность пополнения;  $E$  — продуктивность по икре;  $a$ ,  $b$  — коэффициенты, причем  $a = f(m_1, m_2, t_r)$ ,  $b = f(m_1, t_r)$ .

Учитывая, что между продуктивностью по икре и величиной запаса существует прямая связь, кривую пополнения можно анализировать как по отношению к численности популяции, так и относительно количества отложенных икры. Модель

пополнения Бивертон-Холта дает восходящую асимптотическую кривую воспроизводства, которая может интерпретироваться следующим образом:

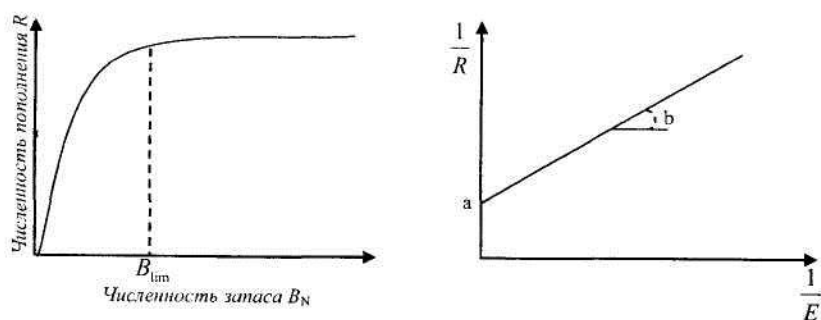


Рис. Кривая пополнения Бивертон—Холта

- 1) в левой части кривой, когда величина родительского стада невысока, численность пополнения прямо пропорционально количеству отложенной икры;
- 2) после достижения некоторой величины запаса происходит стабилизация численности пополнения на постоянном уровне независимо от величины популяционной плодовитости. Это связано с тем, что:

- большому количеству производителей может не хватить площадей нерестилищ;
- возможны повторные кладки на уже отложенную икру, что приводит к гибели последней;
- выклюнувшихся личинок оказывается настолько много, что в момент перехода на экзогенное питание им не хватает пищи и большая часть личинок погибает.

В любом случае излишняя численность запаса и популяционная плодовитость не способствуют повышению эффективности воспроизводства. Следовательно, с точки зрения обеспечения стабильности популяции в условиях ее эксплуатации можно оценить минимально достаточную численность популяции  $B_{lim}$ , которая способна обеспечить нормальное воспроизводство. Это позволяет подобрать режим рыболовства таким образом, чтобы не допустить снижения запаса ниже минимума.

Если имеются данные по величине запаса или популяционной плодовитости и численности пополнения за достаточно большой промежуток времени, то коэффициенты уравнения Бивертон—Холта могут быть найдены методом наименьших квадратов. Для этого уравнение

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

приводится к линейной форме:

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

$$y = a + bx,$$

где:  $y = \frac{1}{R}$ ;

$$x = \frac{1}{E}.$$

### Модель Рикера

У Е. Рикера (1944) исходит из допущения о механизме плотностной регуляции смертности молоди на основе:

- 1) каннибализма (для лососей в случае недостатка естественной пищи и совместного обитания молоди и взрослых рыб);
- 2) хищничества, когда численность хищников определяется первоначальной численностью рассматриваемого поколения.

Модель описывается следующим уравнением:

$$R = aEe^{-bE},$$

где:  $R$  — численность пополнения;  $E$  — продуктивность по икре;  $a, b$  — коэффициенты, характеризующие соответственно депенсационную и компенсационную смертность.

График кривой пополнения по Рикеру имеет куполообразную форму, причем максимум кривой выражен тем лучше, чем выше значение коэффициента компенсационной смертности.

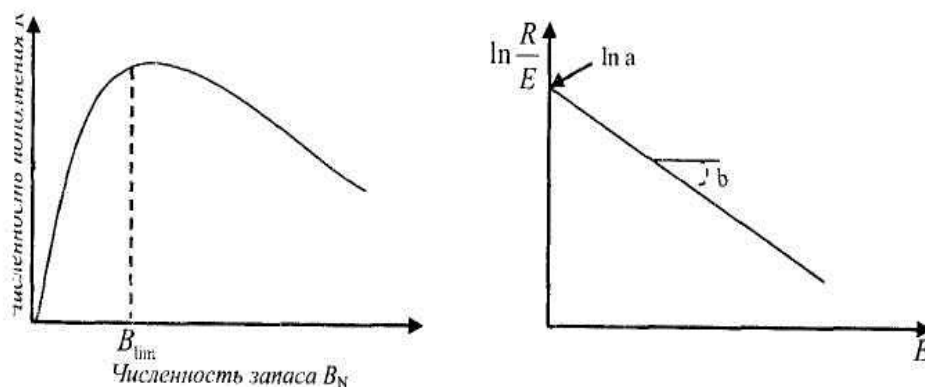


Рис. Кривая пополнения Рикера

Согласно этому графику при увеличении количества продуцируемой икры (что аналогично увеличению численности родительского стада) численность пополнения постепенно возрастает, но после достижения некоторой максимальной величины начинает снижаться ввиду интенсивного выедания молоди хищниками или собственными родителями.

Определение коэффициентов  $a$  и  $b$  осуществляется методом наименьших квадратов с предварительной линеаризацией уравнения:

$$\ln R = \ln(aEe^{-bE}),$$

$$\ln R = \ln a + \ln E - bE,$$

$$\ln R - \ln E = \ln a - bE,$$

$$\ln \frac{R}{E} = \ln a - bE,$$

$$y = a_0 - a_1 x,$$

где:  $y = \ln \frac{R}{E}$ ;

$x = E$ ;

$a_0 = \ln a$ ;

$a_1 = b$ .

Указанные две модели послужили основой для дальнейшего развития теории формирования пополнения промысловых популяций. Это развитие происходило в направлении совершенствования формального представления и описания коэффициентов депенсационной и компенсационной смертностей в связи с условиями обитания молоди.

#### *Методы оценки пополнения*

Оценка численности пополнения является достаточно сложной задачей. Поэтому часто вместо оценки абсолютной численности пополнения пользуются индексами численности, например, уловами на усилие или на единицу площади. Выделяются две группы методов оценки: 1) методы прямого учета и 2) биостатистический метод.

##### *Прямой учет*

Прямой учет заключается в непосредственном отлове молоди различными способами и орудиями лова и оценке ее концентрации. Применяются следующие подходы

- 1) ихтиопланктонные съемки с помощью ихтиопланктонных сетей или ловушек;
- 2) учет покатной молоди;
- 3) оценка концентрации молоди с помощью стандартных траловых или неводных съемок.

При выборе показателя пополнения за основу принимается обычно та возрастная группа, которая может быть оценена с достаточной степенью достоверности. Это может быть либо молодь, достигшая стадии малька, либо покатники, либо возрастная группа минимального возраста, которая улавливается используемым орудием.

##### *Биостатистический подход*

$$R = Y_{N_{x,t_r}} + Y_{N_{x+1,t_r+1}} + Y_{N_{x+2,t_r+2}} + \dots + Y_{N_{x+(t_\lambda+t_r),t_\lambda}}$$

Биостатистический подход к оценке численности пополнения был предложен А. Н. Державиным. Суть его заключается в оценке начальной численности поколения по сумме величин уловов, которые получены в течение всей жизни поколения:

где:  $R$  — численность пополнения;  $Y_N$  — улов;  $x$  — год промысла;  $t_r$  — возраст пополнения;  $t_\lambda$  — предельный возраст жизни рыбы.

Проведя наблюдения за достаточно большой промежуток времени, по крайней мере вдвое больший, чем продолжительность жизни рыбы, можно ретроспективно оценить величину пополнения. Эта величина будет учитывать только рыб, погибших от промысла, и следовательно, она будет меньше истинного пополнения на величину естественной смертности. Если принять, что в течение периода наблюдения естественная смертность не претерпевает существенных изменений, то полученная таким образом величина будет пропорциональна истинной численности пополнения.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) *Модель Бивертон-Холта*
- 2) *Модель Рикера*
- 3) *Методы оценки пополнения*

### **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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №18

### ВИРТУАЛЬНО-ПОПУЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Виртуально-популяционный анализ ВПА (*Virtual Population Analysis, VPA*) — это группа методов, в которых на основе данных по величине уловов, получаемых от каждого поколения на протяжении всей его жизни, ретроспективно оценивается численность поколений и всей популяции.

Все модели виртуально-популяционного анализа подразделяются на две группы: к первой относится модель А. И. Державина, ко второй — все современные модели ВПА, которые различаются математическим аппаратом, методом анализа и количеством видов.

*Метод А. Н. Державина (1922)*

Впервые метод оценки величины эксплуатируемого стада по динамике уловов применил для каспийского леща К. К. Терещенко (1917), но в наиболее законченном виде такой подход был разработан А. Н. Державиным (1922) применительно к севрюге р. Куры.

Суть метода Державина: если имеются величины уловов  $Y_{N_{x,t}}$  ( $x$  — год наблюдения,  $t$  — возраст рыбы), полученные от каждого поколения за весь период его существования, то, просуммировав их, можно оценить начальную численность каждого поколения:

$$B_N = Y_{N_{x,t_c}} + Y_{N_{x+1,t_c+1}} + Y_{N_{x+2,t_c+2}} \dots Y_{N_{x+(t_\lambda - t_c),t_\lambda}}$$

где:  $B_N$  — численность пополнения;  $Y_N$  — улов;  $x$  — год промысла;  $t_c$  — возраст вступления в эксплуатацию;  $t_\lambda$  — предельный возраст жизни рыбы.

Державин использовал такой подход для оценки начальной численности каждого поколения севрюги р. Куры за период с 1854 по 1906 г., т. е., по сути дела, пополнения, и для оценки влияния на пополнение различных внешних условий (в особенности водности Куры в различные годы).

Необходимые условия для применения метода:

- наличие статистики уловов за ряд лет не короче жизненного цикла рыбы;
- знание возрастного состава уловов;
- допущение о постоянстве состава уловов на протяжении изучаемого периода или же ежегодное его определение на промысле.

Основным недостатком метода является то, что при оценке численности суммируются только рыбы, погибшие от промысла. Особи же, убывшие в результате воздействия естественных причин, не принимаются во внимание. Следовательно, полученная величина, которая была названа «минимальная численность запаса»  $B_{N_{\min}}$ , будет меньше истинной численности на величину количества рыб, погибших за счет естественных причин:

$$B_N = \underbrace{\sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} Y_{N_{x,t}}}_{B_{N_{\min}}} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} N_{M_{x,t}}$$

где:  $N_{M_{x,t}}$  — количество рыб возрастной группы  $t$ , погибших от естественных причин в году  $x$ ;  $Y_{N_{x,t}}$  — улов возрастной группы  $t$  в году  $x$ . Если промысел и условия обитания рыб остаются постоянными на протяжении длительного времени, то



минимальная численность запаса будет прямо пропорциональна истинной численности:

$$B_N = \alpha B_{N_{\min}}$$

#### *Виртуально-популяционный анализ*

Державин не предложил никакого математического аппарата для анализа численности популяции, хотя к тому времени уже была выпущена основополагающая работа Ф. И. Баранова. Лишь спустя более 40 лет за рубежом Murphy (1965) и Gulland (1965) предложили метод анализа структуры уловов на основе подхода Баранова. Используются два уравнения. Первое — отражает взаимосвязь численностей смежных возрастных групп:

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

второе — позволяет рассчитать величину улова в поштучном выражении, получаемого от каждой возрастной группы:

$$Y_{N_{x,t}} = N_{x,t} \frac{F_{x,t}}{F_{x,t} + M_{x,t}} \left(1 - e^{-(F_{x,t} + M_{x,t})}\right),$$

где:  $N_{x+1,t+1}, N_{x,t}$  — начальная численность возрастной группы  $t$  в году  $x$ , и в следующем  $x+1$  году, когда возраст рыбы увеличится на единицу;  $Y_{N_{x,t}}$  — улов возрастной группы  $t$  в году  $x$ ;  $F_{x,t}, M_{x,t}$  — мгновенные коэффициенты промысловой и естественной смертности возрастной группы  $t$  в году  $x$ . Они могут быть зависимыми и независимыми от возраста, а величина  $F$  может изменяться по годам в связи с изменениями интенсивности промысла.

*Виртуальная популяция*  $V$  — суммарная численность рыб, принадлежащих разным возрастным классам, которые находятся в водоеме в любой данный момент времени и будут выловлены в данном и во всех последующих годах.

Термин «виртуальная популяция» был предложен Фраем (Fry, 1949), но по своему содержанию он практически идентичен понятию «минимальная численность запаса», которое использовал Державин. Отличия заключаются в том, что через сумму уловов оценивается не только численность рыб первого возраста, но и всех остальных возрастных групп в каждом году.

Если известны величины уловов каждой возрастной группы в течение достаточно большого периода, то суммирование уловов, получаемых от каждого поколения на протяжении всей его жизни, позволяет рассчитать виртуальную численность этого поколения.

*Общая схема виртуально популяционного анализа:*

1. Исходные данные:

- улов каждой возрастной группы по годам ( $Y_{N_{t,x}}$ , экз.) в течение периода не меньше продолжительности жизни поколения;
- мгновенный коэффициент естественной смертности либо постоянный для всех возрастных групп  $M$ , либо зависимый от возраста рыбы  $M_t$ . Принимается, что в течение периода наблюдений коэффициент естественной смертности не изменяется.

2. Дополнительная информация (задается):

- терминальная промысловая смертность  $F_n$  — мгновенный коэффициент промысловой смертности самой старшей возрастной группы за весь период наблюдения.

3. Определяются в результате расчетов:

- мгновенный коэффициент промысловой смертности для всех возрастных групп за весь период наблюдения;
- численность всех возрастных групп за весь период наблюдения.
- если имеются данные по темпу роста, созреванию и селективности промысла, можно дополнительно определить биомассу эксплуатируемого запаса *FSB* и биомассу нерестового стада *SSB*.

Различия методов VPA заключаются в различиях процедуры расчетов.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Метод А. Н. Державина.
- 2) Виртуально-популяционный анализ.
- 3) Общая схема виртуально популяционного анализа.

### 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №19

### ВИРТУАЛЬНО-ПОПУЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ. МЕТОД МЭРФИ. МЕТОД ГАЛЛАНДА

Метод Мерфи исходит из уравнения Баранова и позволяет оценить численность популяции и коэффициент промысловой смертности по известным значениям величин уловов каждой возрастной группы и заданному значению естественной смертности. Как правило, принимается, что естественная смертность не зависит от возраста и года промысла. Динамика численности поколения при переходе из одной возрастной группы в другую описывается как

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

Вводится понятие *коэффициента эксплуатации виртуальной популяции*  $E$  — это доля или процент рыб, которые будут выловлены от данного поколения за весь период его существования

$$E_{x,t} = \frac{Y_{N_{x,t}} + Y_{N_{x+1,t+1}} + Y_{N_{x+2,t+2}} + \dots}{N_{x,t}} = \frac{V_{x,t}}{N_{x,t}}.$$

Коэффициент эксплуатации виртуальной популяции равен отношению численности виртуальной популяции к истинной численности.

Найдем соотношение виртуальных численностей в два последовательных года:

$$\frac{V_{x+1,t+1}}{V_{x,t}} = \frac{E_{x+1,t+1} N_{x+1,t+1}}{E_{x,t} N_{x,t}} = \frac{E_{x+1,t+1} N_{x,t} e^{-Z_{x,t}}}{E_{x,t} N_{x,t}},$$

$$\frac{V_{x+1,t+1}}{V_{x,t}} = \frac{E_{x+1,t+1}}{E_{x,t}} e^{-Z_{x,t}}.$$

Примем, что интенсивность промысла остается постоянной во времени и не зависит от возраста рыбы (т. к. промысел ведется отцеживающим орудием лова). Тогда окажется, что коэффициент эксплуатации виртуальной популяции по отдельным поколениям будет постоянным и в уравнении величины  $E_{x,t} = E_{x+1,t+1}$  можно сократить. В результате получаем, что соотношение виртуальных численностей поколения в два смежных года будет равно коэффициенту выживания  $S$ :

$$\frac{V_{x+1,t+1}}{V_{x,t}} = \frac{E_{x+1,t+1}}{E_{x,t}} e^{-Z_{x,t}} = e^{-Z_{x,t}} = S_{x,t}. \quad (1)$$

Зная коэффициент выживания, можно определить мгновенный коэффициент общей смертности

$$Z_{x,t} = -\ln S_{x,t}.$$

Если известно значение мгновенного коэффициента естественной смертности  $M$ , то не представляет труда определить и мгновенный коэффициент промысловой смертности:

$$F_{x,t} = Z_{x,t} - M. \quad (2)$$

И наконец, по известным значениям уловов и полученным коэффициентам общей и промысловой смертности определяется численность каждой возрастной группы в каждом году

$$N_{x,t} = Y_{N_{x,t}} \frac{Z_{x,t}}{F_{x,t} (1 - e^{-Z_{x,t}})} \quad (3)$$

Проблема состоит в том, что для последней «терминальной» возрастной группы  $t_n$  и для всех возрастных групп в последнем году наблюдения невозможно применить уравнение 1. Для них не существует значения  $V_{x+1,t+1}$  значит нельзя определить мгновенные коэффициент общей и промысловой смертности. Поэтому во все моделях ВРА поступают следующим образом:

а) для полностью обловленных поколений:

- задают некоторое значение промысловой смертности для терминальной возрастной группы  $F_n$ ;
- рассчитывают численность терминальной возрастной группы как

$$N_{x,n} = Y_{N_{x,n}} \frac{Z_{x,n}}{F_{x,n}} ;$$

- последовательно определяют коэффициенты общей и промысловой смертности для всех более младших возрастных групп по уравнениям (1) и (2);
- последовательно рассчитывают численность каждой возрастной группы по уравнению (3), зная коэффициент общей и промысловой смертности и улов каждой возрастной;

б) для не полностью обловленных поколений:

- задают некоторой значение промысловой смертности для последнего года наблюдения в каждой возрастной группе;
- рассчитывают численность каждой возрастной группы в терминальном году:

$$N_{x,t} = Y_{N_{x,t}} \frac{Z_{x,t}}{F_{x,t} (1 - e^{-Z_{x,t}})} ;$$

последовательно определяют коэффициенты общей и промысловой смертности для всех более младших возрастных групп по уравнениям (1) и (2);

последовательно рассчитывают численность каждой возрастной группы по уравнению (3), зная коэффициент общей и промысловой смертности и улов каждой возрастной группы.

*Свойства метода*

- 1) Метод пригоден только для случая, когда естественная и промысловая смертности не зависят от возраста и года промысла, в противном случае коэффициент эксплуатации виртуальной популяции  $E$  будет изменяться по годам и возрастам и нельзя будет провести преобразование.
- 2) Точность расчетов зависит от того, полностью или не полностью обловлено поколений. Неправильность определения терминального возраста  $t_n$  может привести к существенным ошибкам.
- 3) Необходимо правильно задать значение мгновенного коэффициента естественной смертности  $M$ .
- 4) Необходимо правильно задать значение мгновенного коэффициента терминальной промысловой смертности  $F_n$ .

*Метод Галланда (Gulland, 1965)*

Метод Галланда позволяет провести более точный анализ популяции в том случае, когда поколения обловлены не полностью и, кроме того, величина промысловой смертности может изменяться по годам.

Вводится специальный показатель - *относительная численность поколения*  $r$ , который связывает численность поколения в следующем году с уловом, полученным от него в текущем году:

$$r_{x,t} = \frac{N_{x+1,t+1}}{Y_{N_{x,t}}}$$

Подставив уравнения Баранова по численности и улову

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

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

можно показать, что величина относительной численности поколения  $r$  не зависит от численности и улова, а определяется только соотношением между мгновенными коэффициентами естественной и промысловой смертности:

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

Следовательно, если известно значение коэффициента  $r$  для какого-либо поколения и, по условию *VPA*, задано значение мгновенного коэффициента естественной смертности  $M$ , то по уравнению можно было бы найти коэффициент промысловой смертности, а затем по известной уже схеме рассчитать численность поколения

Галланд предложил определять  $r$  через численность виртуальной популяции:

$$Y_{N_{x,t}} = V_{x,t} - V_{x+1,t+1},$$

$$V_{x+1,t+1} = E_{x+1,t+1} N_{x+1,t+1},$$

$$r_{x,t} = \frac{N_{x+1,t+1}}{Y_{N_{x,t}}} = \frac{V_{x+1,t+1}}{E_{x+1,t+1} (V_{x,t} - V_{x+1,t+1})}$$

Таким образом, подставляя  $r_{x,t}$  определенное по уравнению в

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

можно оценить искомое значение промысловой смертности.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Метод Мерфи.
- 2) Метод Галланда.

## 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 промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## Лекция №20

### ВИРТУАЛЬНО-ПОПУЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ. КАГОРТНЫЙ АНАЛИЗ ПОУПА. КРИТИКА ВПА

Когорта - это совокупность особей, принадлежащих одной возрастной группе, поколение. Когортный анализ представляет собой упрощенный вариант виртуально-популяционного анализа с целью избежать трудоемкой процедуры последовательного нахождения значений численности, относительной численности поколения, промысловой смертности.

Суть его состоит в том, что вместо уравнения Галланда

$$N_{x-1,n-1} = Y_{N_{x-1,n-1}} \frac{F_{x-1,n-1} + M_{x-1,n-1}}{F_{x-1,n-1} (1 - e^{-(F_{x-1,n-1} + M_{x-1,n-1})}}$$

используется упрощенная форма, в которой не используется значение промысловой смертности. Поуп показал, что в диапазоне значений  $M < 0,3$  и  $F < 1,2$  допустимо уравнение которое дает ошибку аппроксимации не более 4%.

$$N_{x-1,t-1} = N_{x,t} e^{M_t} + Y_{x-1,t-1} e^{\frac{M_t}{2}}$$

Такая замена предполагает, что убыль численности под воздействием естественных причин идет согласно экспоненциальному закону (первый член уравнения), а весь улов мгновенно изымается в середине года (второй член уравнения).

В когортном анализе, по сути дела, теряется изначальный смысл виртуальной популяции, т. к. идет простой расчет численности в обратную сторону по заданным изначальным коэффициентам смертности.

*Сепарабельный анализ (SVPA) (Pope, Shepherd, 1982)*

Сепарабельный, или раздельный, анализ - это дальнейшее усовершенствование популяционного анализа. Для него используются все те же исходные данные и заданное значение естественной смертности, но величина  $F$  разделяется на две составляющие (отсюда и происхождение названия метода):

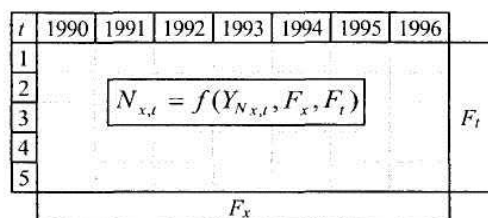
1.  $F_x$  — промысловая смертность как эффект года. Ее величина может изменяться по годам в зависимости от динамики интенсивности промысла (количества судов, рыбаков, орудий лова и т. п.);

2.  $F_t$  — промысловая смертность как эффект возраста рыбы, который определяется селективностью используемых орудий лова.

Суммарный коэффициент промысловой смертности в данном году и при данном возрасте составляет произведение этих величин:

$$F_{x,t} = F_x F_t$$

Общая схема расчета такая же, как в методе Галланда, но в качестве исходных (в терминальный возраст и последний год наблюдения) задаются одновременно  $F_x$  и  $F_t$ :



На каждом шаге итерации значение мгновенного коэффициента промысловой смертности умножается на соответствующие коэффициенты  $F_x, F_r$ .

В отличие от других методов *VPA* в *SVPA* процедура настройки, т. е. выбора терминальных коэффициентов промысловой смертности, автоматически входит в сами расчеты виртуальной популяции, хотя все другие ограничения имеют силу.

#### *Многовидовой анализ MSVPA (Multi-species VPA)*

Промысел оказывает влияние не на один какой-либо вид, а на весь ихтиоценоз в целом, поэтому было бы желательно анализ динамики численности проводить не для изолированной популяции, а для группы популяций, существующих совместно. Например, в Балтийском море при анализе динамики численности трески необходимо учитывать и воздействие промысла на шпрота - основного пищевого компонента. С другой стороны, изменение численности трески под воздействием промысла может оказать воздействие и на популяцию шпрота и его уловы.

В моделях *MSVPA* используются те же подходы, что и в одновидовых, но с рядом дополнительных параметров:

- 1) вводится коэффициент селективности отдельно для каждой популяции и может учитываться динамика доступности того или иного объекта для промысла в различные сезоны года;
- 2) естественная смертность представляется как составляющая двух компонентов:
  - естественная смертность, являющаяся видовым и популяционным признаком;
  - естественная смертность как эффект взаимодействия видов.

Например, естественная смертность трески может изменяться в зависимости от численности шпрота в связи с большей или меньшей обеспеченностью пищей:

$$M_{sp1} = m_{0,sp1} \pm m_{1,sp1} N_{sp2},$$

где:  $M_{sp1}$  - естественная смертность первого вида;  $m_0$  - естественная смертность первого вида в отсутствие второго вида;

$m_1$  - коэффициент, учитывающий влияние второго вида на естественную смертность первого вида;  $N_{sp2}$  - численность второго вида.

По сути, многовидовые *VPA* сходны с сепарабельным подходом, но отличаются еще большей сложностью.

#### *Методы настройки ВПА*

Основная проблема виртуально-популяционного анализа заключается в том, чтобы задать правильное значение терминальной промысловой смертности. Именно выбору значения терминальной смертности посвящено большое количество исследований. Выбор терминального значения промысловой смертности называется настройкой ВПА.

К настоящему времени известно более 20 способов настройки, каждый из которых использует те или иные подходы.

1. Методы без использования дополнительной информации:

- $F_n$  задается исходя из умозрительных предположений;
- $F_n$  подбирается путем простого перебора возможных вариантов в процессе итераций;
- $F_n$  первоначально задается произвольно, а в процессе итераций берется усредненное значение за все годы наблюдения.

2. Методы, использующие дополнительную информацию по промыслу:

- используются промысловые усилия;
- метод коэффициента улавливаемости по наиболее важным орудиям лова.

3. Методы, использующие индексы численности (обычно уловы на усилие как показатели численности).



### *Критика ВПА*

Все подходы к виртуально-популяционному анализу имеют очень жесткие требования к исходным данным.

1) Необходим длительный ряд наблюдений за эксплуатируемой популяцией, превышающий продолжительность жизни рыбы.

2) Необходимо точно оценить возрастной состав уловов. Это осуществляется с помощью массовых промеров промысловых уловов. Если на промысле используются однотипные орудия лова с примерно одинаковыми характеристиками селективности, то задача оценки возрастного состава обычно не вызывает затруднений. Такое положение имеет обычно место в морском и океаническом промысле, где наибольшая доля уловов обеспечивается траловым ловом, а селективность тралов жестко регламентируется различными международными соглашениями. Попытки применения ВПА к внутренним водоемам в большинстве случаев оканчивались безрезультатно. Это связано, в первую очередь, с очень сложным характером селективности промысла. На каждом водоеме применяются десятки различных типов и спецификаций орудий лова — от ставных и плавных сетей с различным шагом ячеи и конструкцией до тралов, неводов и ловушек. Многие из них производятся кустарным способом. Понятно, что учесть селективность такого ассортимента орудий весьма проблематично.

3) Во всех методах ВПА необходимо задать значение коэффициента естественной смертности, который должен быть определен независимым способом. От величины естественной смертности будет зависеть и оценка численности. Как было показано в предыдущих главах, задача оценки естественной смертности является чрезвычайно сложной. Поэтому, для запасов, эксплуатируемых продолжительное время, обычно просто задают некоторое значение  $M$  и пользуются им на протяжении ряда лет, сознательно принимая, что ошибка определения будет иметь место, но она окажется приблизительно одинаковой каждый год.

Удовлетворительные результаты ВПА дает только при достаточно высокой интенсивности промысла, по крайней мере  $F > M$ . При низких значениях промысловой смертности ошибка определения численности получается очень высокой. Это является еще одной причиной трудности применения ВПА на внутренних водоемах, где добывающая база развита чрезвычайно слабо, а учет результатов промысла затруднен.

4) Методы настройки ВПА, как правило, не имеют под собой биологического обоснования, а представляют просто математические манипуляции с целью добиться наиболее близкого описания наблюдаемой динамики уловов. Из-за существования множества методов настройки невозможно получить однозначное решение.

5) Единственным критерием оценки правильности ВПА являются величины уловов. Поэтому результаты анализу целиком зависят от того, каким образом и с какой достоверностью налажен сбор рыбопромысловой статистики. Имеются многочисленные примеры, когда результаты виртуально-популяционного анализа противоречили реально наблюдаемой ситуации.

Несмотря на все указанные недостатки, виртуально-популяционный анализ является наиболее эффективным способом оценки популяционных параметров и применяется практически для всех эксплуатируемых запасов в океаническом рыболовстве. На внутренних водоемах применение его пока ограничено.

## Вопросы для самоконтроля

- 1) Критика ВПА
- 2) Методы настройки ВПА
- 3) Сепарабельный анализ (SVPA)
- 4) Многовидовой анализ MSVPA

## 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. **Аксюткина, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксюткина - М.: Пищевая промышленность, 1968. - 289 с.
2. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению/ Н.Н. Андреев - М.: Пищепромиздат, 1962. - 504 с.
3. **Тюрин, П.В.** Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоёмах/ П.В. Тюрин - М.: Пищепромиздат, 1963. - 120 с.
4. **Дементьева, Т.Ф.** Биологическое обоснование промысловых прогнозов/ Т.Ф. Дементьева - М.: Пищевая промышленность, 1976. - 238 с.
5. **Сечин, Ю.Т.** Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоёмах. / Ю.Т. Сечин. - М.:ВНИИПРХ 1990.- 50 с.
6. **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.
7. **Кузнецов, Н.Л.** Современный справочник рыболова <http://www.booksgid.com/loadbook/6268>

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шibaев, С.В.** Промысловая ихтиология: учебник. / Шibaев 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. **Аксютинa, З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютинa - М.: Пищевая промышленность, 1968. - 289 с.
4. **Денисов, Л.И.** Промышленное рыболовство на внутренних водоёмах / Л.И. Денисов - Л.: М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. - 272 с.
5. **Андреев, Н.Н.** Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промышленному 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 промышленность, 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 Цель, задачи, предмет и история становления промысловой ихтиологии. Основные понятия, определения, термины. История появления, Основные направления исследований в области промысловой ихтиологии</b>	<b>4</b>
Вопросы для самоконтроля	6
Список литературы	6
<b>Лекция №2 Роль математических методов в промысловой ихтиологии</b>	<b>7</b>
Вопросы для самоконтроля	9
Список литературы	9
<b>Лекция №3 Формальная теория жизни рыб Ф.И.Баранова. Основное уравнение улова</b>	<b>10</b>
Вопросы для самоконтроля	12
Список литературы	12
<b>Лекция №4 Закономерности стабилизации популяций</b>	<b>14</b>
Вопросы для самоконтроля	16
Список литературы	16
<b>Лекция №5 Классификация орудий рыболовства</b>	<b>17</b>
Вопросы для самоконтроля	18
Список литературы	18
<b>Лекция 6 Параметры рыболовства</b>	<b>19</b>
Вопросы для самоконтроля	22
Список литературы	22
<b>Лекция 7 Понятие о популяционных параметрах. Статистические параметры популяции. Динамические параметры популяции</b>	<b>23</b>
Вопросы для самоконтроля	25
Список литературы	25
<b>Лекция №8 Промысловая структура популяции</b>	<b>26</b>
Вопросы для самоконтроля	27
Список литературы	27
<b>Лекция №9 Численность популяции и методы её оценки</b>	<b>28</b>
Вопросы для самоконтроля	29
Список литературы	29
<b>Лекция №10 Смертность рыб. Общие положения</b>	<b>30</b>
Вопросы для самоконтроля	31
Список литературы	31
<b>Лекция №11 Естественная смертность. Понятие смертности. Способы выражения, единицы измерения</b>	<b>33</b>
Вопросы для самоконтроля	35
Список литературы	35
<b>Лекция №12 Промысловая смертность. Понятие промысловой смертности и способы ее выражения</b>	<b>36</b>
Вопросы для самоконтроля	37
Список литературы	37
<b>Лекция №13 Свойство аддитивности коэффициентов смертности</b>	<b>39</b>
Вопросы для самоконтроля	39
Список литературы	40

<b>Лекция №14 Рождаемость. Основные понятия, виды. Плодовитость. Пополнение</b>	<b>41</b>
Вопросы для самоконтроля	43
Список литературы	43
<b>Лекция №15 Зависимость продуктивности по икре <math>E</math> от собственных параметров популяции</b>	<b>44</b>
Вопросы для самоконтроля	46
Список литературы	46
<b>Лекция №16 Интуитивный подход к исследованию проблемы «запас-пополнение». Эмпирический подход</b>	<b>48</b>
Вопросы для самоконтроля	49
Список литературы	50
<b>Лекция №17 Модели запас-пополнение. Методы оценки пополнения</b>	<b>51</b>
Вопросы для самоконтроля	54
Список литературы	54
<b>Лекция №18 Виртуально-популяционный анализ</b>	<b>56</b>
Вопросы для самоконтроля	58
Список литературы	58
<b>Лекция №19 Виртуально-популяционный анализ. Метод Мэрфи. Метод Галланда</b>	<b>59</b>
Вопросы для самоконтроля	61
Список литературы	62
<b>Лекция №20 Виртуально-популяционный анализ. Кагортный анализ Поупа. Критика ВПА</b>	<b>63</b>
Вопросы для самоконтроля	66
Список литературы	66
<b>Библиографический список</b>	<b>67</b>