

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Водные биоресурсы и марикультура»

Милованов А.И.

Промысловая ихтиология

конспект лекций

для студентов направления подготовки
35.03.08 «ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И АКВАКУЛЬТУРА»
очной и заочной форм обучения

Керчь, 2019 г.

УДК 639.3

Составитель: Милованов А.И., старший преподаватель кафедры «Водные биоресурсы и
марикультура» ФГБОУ ВО «КГМТУ» Милованов

Рецензент: Шаганов В.В. канд. биол. наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и
марикультура» ФГБОУ ВО «КГМТУ» Шаганов

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Водные
биоресурсы и марикультура» ФГБОУ ВО «КГМТУ» протокол № 10 от 13.06 2019 г

Методические указания утверждены и рекомендованы к публикации

на заседании методической комиссии ТФ ФГБОУ ВО «КГМТУ»

протокол № 10 от 02.07 2019 г

СОДЕРЖАНИЕ

Введение в промысловую ихтиологию.....	4
Тема 1. Формальная теория жизни рыб И.Ф. Баранова.....	11
Тема 2. Промысел и его параметры.....	20
Тема 3. Популяционные параметры.....	28
Тема 4. Рост и продуктивность популяции.....	42
Тема 5. Воспроизводство и пополнение стада рыб.....	55
Тема 6. Смертность рыб.....	68
Тема 7. Общие закономерности динамики эксплуатируемых популяций рыб.....	76
Тема 8. Моделирование в промысловой ихтиологии: аналитические модели, производственные модели.....	85
Тема 9. Концепция перелома.....	98
Тема. 10. Промысловые прогнозы.....	102
Список литературы.....	109

ВВЕДЕНИЕ В ПРОМЫСЛОВУЮ ИХТИОЛОГИЮ.

Промысловая ихтиология является частью цикла профессиональных дисциплин и включает разделы об особенностях и закономерностях существования популяций гидробионтов как в девственном состоянии, так и при воздействии на них человеческой деятельности (промысла). Изучение данной дисциплины является одним из этапов подготовки бакалавров направления «Водные биоресурсы и аквакультура».

Целью освоения дисциплины «Промысловая ихтиология» является формирование у студентов навыков управления водными биоресурсами в природных водоемах и использования их результатов в профессиональной деятельности.

Задачи преподавания дисциплины – приобретение теоретических и практических навыков, позволяющих решать прикладные задачи промысловой ихтиологии - обнаружение и оценка скоплений водных объектов, прогнозирование динамики численности популяций промысловых гидробионтов, организацию биологически обоснованного промысла.

В соответствии с учебным планом по направлению подготовки 111400.62 Водные биоресурсы и аквакультура дисциплина «Промысловая ихтиология» относится к базовой (общепрофессиональной) части профессионального цикла.

Дисциплина базируется на знаниях, имеющихся у студентов при изучении дисциплин: «Ихтиология», «Физиология рыб», «Общая экология», «Биологические ресурсы гидросферы»,

Для качественного усвоения дисциплины студент должен:

- знать: экологические группы гидробионтов, основные объекты промысла гидробионтов, базовые районы промысла;
- уметь: определять стадии зрелости у рыб, определять количественные показатели естественной кормовой базы водоёмов.

Человечество на протяжении многих столетий использует биологические ресурсы Мирового океана. Постепенный переход рыболовства и добычи морских млекопитающих от прибрежного к морскому, а затем ближнему и дальнему океаническому, происходивший в течение последних 50-100 лет, базировался на все более углубленном исследовании океанов и морей, их флоры и фауны. Глубокий практический интерес человечества к живым ресурсам морей и океанов привел к формированию основ ихтиологии.

Ихтиология (ἰχθύς [ихт́ис] — рыба; λόγος [л́огос] — слово) — раздел зоологии, посвященный всестороннему изучению круглоротых и рыб. Выделяют три основных направления ихтиологической науки.

- общая ихтиология;
- частная ихтиология;
- промысловая ихтиология.

Промысловая ихтиология появилась в ответ на необходимость человечества в обеспечении эффективного природопользования. При использовании живых ресурсов морей и океанов люди в различное время руководствовались разными подходами, начиная от предположений о неисчерпаемости рыбных запасов до осознания необходимости их охраны и поддержания численности промыслово-ценных видов гидробионтов на том уровне, при котором их можно добывать без вреда для природных популяций. Как отдельная дисциплина промысловая ихтиология сформировалась в 1918 г. после выхода статьи И.Ф. Баранова «К вопросу о биологическом обосновании рыбного хозяйства».

В настоящее время предметом изучения промысловой ихтиологии являются закономерности динамики численности и биомассы природных популяций гидробионтов и их изменения под действием промысла.

В связи с этим промысловая ихтиология призвана решать ряд теоретических и практических задач.

Теоретические задачи:

1. Исследование общих закономерностей динамики эксплуатируемых запасов гидробионтов.

2. Разработка методов оценки биологических параметров популяций и промыслово-биологических показателей системы «запас-промысел»

3. Изучение закономерностей и факторов, определяющих формирование продуктивности популяций промысловых гидробионтов.

4. Создание теоретических основ управления водными биоресурсами.

Практические задачи:

1. Изучение закономерностей формирования пополнения промыслового стада.

2. Оценка оптимальных параметров промыслового использования популяций гидробионтов.

3. Разработка биологических оснований Правил рыболовства

4. Составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов вылова рыбы в рыбохозяйственных водоемах.

Методическую основу промысловой ихтиологии составляют инструменты математической статистики, которые позволяют охарактеризовать изучаемую совокупность – «запас». Для анализа используются сведения о размерах и массе гидробионтов в уловах, их возрастном составе, а также данные об условиях и результатах их эксплуатации.

Место промысловой ихтиологии в системе рыбохозяйственных дисциплин.

При рыбохозяйственных исследованиях эксплуатируемый запас всегда рассматривается во взаимодействии с факторами внешней среды и характером его эксплуатации. То есть объектом рыбохозяйственных исследований является система «Окружающая среда \rightleftharpoons запас \rightleftharpoons промысел».

Все три элемента этой системы взаимно воздействуют друг на друга. Параметры окружающей среды влияют на видовой состав промысловых объектов и величину их запаса через количество доступных ресурсов и на

возможность промысла через геоморфологические особенности водоема. Видовой состав определяет характер и интенсивность промысла, например, в части выбора тех или иных его орудий. Промысел меняет видовой состав гидробионтов в водоеме и влияет на их численность и биомассу, изменяет размерный состав обитающих в водоеме организмов. Некоторые виды промысла ведут к изменению условий обитания гидробионтов. Так. Например, донные тралы и драги разрушают донные биотопы, лишая обитателей дна кормовой базы и нерестового субстрата.

Если говорить о всем комплексе рыбохозяйственных наук, то он включает в себя ихтиологию (общую, частную и промысловую), гидробиологию, гидрохимию, гидрологию, океанологию, гидроэкологию и промышленное рыболовство. Большинство из этих дисциплин сосредоточены на каком-либо одном конкретном элементе рассматриваемой системы. Промысловая ихтиология в этой системе непосредственно касается двух элементов - запаса и промысла - в их постоянной взаимосвязи.

Системный подход в промысловой ихтиологии

Поскольку промысловая ихтиология изучает систему «запас-промысел», то одним из основных принципов ее является системный анализ. Рассматривая элементы системы по отдельности, можно выявить некоторые их свойства. Однако после объединения элементов в систему у них могут проявиться новые свойства, называемые *эмергентными*. В данном случае эмергентным свойством системы «запас-промысел» выступает улов.

Система – совокупность элементов, находящихся в определенных взаимосвязях друг с другом, образующих некоторую общность или единство. Система характеризуется составом структурой и функцией.

Состав – перечень элементов системы. Бывает качественным (список видов, список орудий лова) и количественным (характеризует величину каждого элемента в системе).

Структура системы отображает характер связей между ее элементами, который обеспечивает функционирование системы как единого целого. Также может быть качественной, количественной или организационной (характеризует глубину каждой связи). Структуры часто представляют графически.

Функция – это закон, по которому изменяются со временем состав и структура изучаемой системы.

Еще одной важной особенностью систем является их иерархичность. Каждый элемент системы может быть представлен как более простая система. Например, эксплуатируемая популяция может быть разделена на молодь и взрослых особей, составляющих нерестовый запас; ихтиофауна водоема в целом – на промысловые и непромысловые виды и т.п.

Задачей системного анализа как методологического подхода как раз и является выявление состава, структуры и функций любой системы.

Математическое моделирование в промысловой ихтиологии.

Одной из особенностей популяций гидробионтов является то, что часто невозможно оценить их полностью прямым учетом. Для оценки параметров популяции специалисты вынуждены использовать данные выборок. В связи с этим возникает вопрос о достоверности этих выборок. Здесь основным инструментом является математическая статистика.

Вторым важным вопросом является расчет того количество запаса, которое может быть изъято без причинения вреда текущему состоянию популяции. Натурные эксперименты в этом направлении проводить не представляется возможным, поэтому здесь на первое место выходит математический аппарат, который через модели описывает поведение системы.

Модель – упрощенный образ, отображающий только наиболее существенные свойства оригинала. При этом важно, чтобы модель достоверно отображала эти существенные свойства.

В моделях, используемых в промысловой ихтиологии, обычно отражается небольшое число параметров, характеризующих эксплуатируемую популяцию и промысел.

В зависимости от целей и назначения различают следующие виды моделей.

Реальные (натуральные) – уменьшенный образ объекта исследования, например, аквариум. Недостаток: не все действия можно провести в уменьшенном масштабе;

Знаковые модели описывают объект с помощью специальных символов с указанием связей между их отдельными элементами.

Концептуальные модели – это всевозможные блок-схемы, графики зависимостей, таблицы. Просты в понимании и интерпретации, но статичны и не могут использоваться для моделирования динамических процессов

Математические модели используют для описания объектов математический аппарат. Математические модели делят на аналитические и имитационные.

Аналитические модели описывают систему через уравнение с ограниченным набором параметров, которое позволяет получить однозначную оценку изучаемого параметра.

Имитационные модели описывают систему через систему дифференциальных уравнений со связанными параметрами.

Вопросы для самоконтроля.

1. Когда промысловая ихтиология сформировалась как отдельная дисциплина?
2. Каковы основные теоретические задачи промысловой ихтиологии?
3. Каковы основные практические задачи промысловой ихтиологии?
4. Опишите основные взаимодействия элементов системы «Окружающая среда \rightleftharpoons запас \rightleftharpoons промысел».

5. В чем заключается системный подход в промышленной ихтиологии?
6. Что такое состав системы, структура системы, функция системы?
7. Что такое модель, какие виды моделей используются в промышленной ихтиологии?

Литература [1,4]

ТЕМА 1. ФОРМАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ЖИЗНИ РЫБ И.Ф. БАРАНОВА

Устойчивое рыболовство нацелено на долговременную устойчивую эксплуатацию некоторой совокупности особей рыб, обитающих в рыбохозяйственном водоеме. Данная совокупность имеет ряд определенных биологических свойств, обуславливающих возможность ее промыслового использования. В промысловой ихтиологии выделяют несколько таких совокупностей.

Популяция – одновидовая разновозрастная самовоспроизводящаяся группировка особей, обитающая на определенной территории (ареале) и достаточно ограниченная от других аналогичных группировок.

Стадо – группа особей, занимающих определенную часть пространства и имеющих одинаковую репродуктивную тактику при незначительной иммиграции и эмиграции рыб, относящихся к другим стадам.

Единица запаса – часть популяции, приуроченная к определенному промысловому району и выделяемая как объект управления. В отношении единицы запаса определяется ОДУ и меры регулирования.

Поскольку длительность существования популяции значительно превосходит продолжительность жизни отдельных ее особей, в ней постоянно происходит смена поколений. Даже если популяция стабильна, эта стабильность является результатом некоторого динамического равновесия процессов, обеспечивающих пополнение и убыль особей в популяции.

В общем виде динамика биомассы любой эксплуатируемой популяции рыб может быть описана уравнением Рассела вида:

$$B_2 = B_1 + (R + G) - (M + F) \quad (1)$$

B_1, B_2 – биомасса популяции в начале и конце года;

R – пополнение;

G – весовой прирост особей популяции;

M – естественная смертность;

F – вылов.

Очевидно, что стабильность популяции достигается при условии взаимной компенсации указанных динамических параметров.

Уравнение Рассела из-за своего общего характера не позволяет раскрыть механизм изменения динамических параметров популяции.

Формальная теория жизни рыб.

И.Ф. Баранов в 1918 г. впервые теоретически, с помощью математических моделей, выразил динамику популяции рыб, а также ответил на вопрос, каким должно быть нормальное состояние стада рыб и промысла.

В результате анализа данных о динамике промысла северной камбалы Баранов разработал «формальную теорию жизни рыб».

Он предложил рассмотреть некоторый идеальный случай формирования и динамики численности популяции в условиях изолированности водоема, постоянства интенсивности рыболовства и отсутствия форс-мажорных факторов, могущих повлиять на состав популяции.

Во-первых, И.Ф. Баранов проследил судьбу одного поколения рыб.

В начальный момент времени t_0 в водоеме появляется количество новых особей равное N_0 . Через год под воздействием комплекса естественных факторов начальная численность снижается до значения N_1 и т.д. Проследив таким образом изменение численности поколения за ряд лет, получаем кривую выживания.

Кривая выживания – геометрическое место точек, описывающее изменение численности одного поколения в течение его жизни.

Форма данной кривой определяется смертностью рыб Z , т.е. той скоростью, с которой происходит убыль их численности.

Далее последовало предположение о том, что в рассматриваемом водоеме ежегодно образуется количество новых особей равное N_0 . Данное допущение основано на высокой плодовитости большинства видов рыб и том факте, что численность молоди ограничена имеющимися в водоеме ресурсами.

Численность рыб в популяции в любой рассматриваемый момент времени, таким образом, будет складываться из численности новообразовавшихся особей и определенного количества выживших рыб из предыдущих поколений. Если период наблюдения будет равен максимальной продолжительности жизни особей вида, то мы сможем наблюдать процесс формирования общей численности популяции и построить кривую населения.

Кривая населения – геометрическое место точек. Описывающих возрастную структуру популяции.

Кривая населения в идеальной популяции тождественна кривой выживания, то есть численность каждой более старшей возрастной группы меньше, чем у младшей.

Формирование численности теоретической популяции рыб при начальной численности поколения 100 особей и уровне общей смертности равном 45% показано в таблице 1.

Таблица 1. – Пример формирования численности теоретической популяции

Возраст	1	2	3	4	5	6	7
1	100	100	100	100	100	100	100
2		55	55	55	55	55	55
3			30	30	30	30	30
4				17	17	17	17
5					9	9	9
Всего	100	155	185	202	211	211	211

Для математического описания кривой населения И.Ф. Баранов выразил имевшиеся данные по возрастному составу северной камбалы в полулогарифмической системе. Наблюдая за изменением размерно-возрастной структуры, Баранов отметил, что часть данных в правой части графика хорошо ложится на отрезки прямых линий, что может говорить о факте наличия некоторого постоянного значения скорости изменения параметров (в данном

случае величина уловов размерной группы). Эта скорость была обозначена как общая смертность.

Далее Баранов, используя выдвинутое ранее допущение о постоянстве начальной численности, т.е. $N_0 = const$, вывел **уравнение Баранова**, описывающее закономерность изменения численности популяции с возрастом в интегральном (2) и логарифмическом (3) виде:

$$N_t = N_0 e^{-Zt} \quad (2)$$

$$\ln N_t = \ln N_0 - Zt \quad (3)$$

N_0 – численность поколения в начальный момент времени;

N_t – численность поколения в возрасте t ;

Z – общая смертность;

t – возраст.

График уравнения (1) представляет собой вогнутую ниспадающую кривую, а график уравнения (2) – ниспадающая прямая, в которой показатель общей смертности численно равен тангенсу угла наклона α этой прямой.

$$Z = \tan \alpha \quad (4)$$

Получив общий вид уравнения и учитывая, что в природе смертность зависит от возраста, Баранов переработал уравнение так, чтобы оно описывало связь численности смежных возрастных групп (поколений) (уравнения 4 и 5).

$$N_{t+1} = N_t e^{-Zt} \quad (5)$$

$$\ln N_{t+1} = \ln N_t - Zt \quad (6)$$

N_t – численность поколения в возрасте t ;

N_{t+1} – численность поколения в возрасте $t+1$.

Преобразовывая уравнение (6), можно показатель общей смертности выразить через логарифм отношения численности старшего поколения к численности младшего поколения (7).

$$Z_t = -\ln \frac{N_{t+1}}{N_t} \quad (7)$$

Динамика биомассы

При описании весового роста И.Ф. Баранов также предположил постоянство его скорости во времени и, таким образом получил уравнение (8)

$$W_t = W_0 e^{Gt} \quad (8)$$

Биомасса популяции – совокупная масса всех особей популяции.

Из указанного определения следует, что динамика биомассы зависит как от изменения веса отдельных особей, так и от изменения общей численности особей.

Используя выражения (2) и (8), И.Ф. Баранов вывел общее уравнение динамики биомассы популяции (9), а затем преобразовал его для расчета биомассы отдельных поколений (10):

$$B_t = N_0 W_0 e^{(G-Z)t} = B_0 e^{(G-Z)t} \quad (9)$$

$$B_{t+1} = B_t e^{(G_t - Z_t)} \quad (10)$$

G_t и Z_t – это специфические для каждой возрастной группы коэффициенты.

Уравнение (8) позволяет описать динамику биомассы стабильной популяции. График в данном случае имеет вид выпуклой кривой с вершиной (точкой перегиба) в возрасте «**кульминации ихтиомассы**» B_{max} , когда параметры G и Z приходят в уравновешенное состояние.

Имеется мнение, что возраст начала эксплуатации популяции должен соответствовать или быть привязанным к возрасту «**кульминации ихтиомассы**» B_{max} . Однако данное утверждение в настоящее время является предметом продолжающейся дискуссии.

Основное уравнение улова.

Говоря о коэффициенте общей смертности Z , мы должны учитывать, что уменьшение численности рыб может быть как по естественным причинам, которые будут обозначены как M , так и по причине изъятия их промыслом (F). Таким образом имеем следующее равенство:

$$Z = M + F \quad (11)$$

Введя коэффициент F , теперь мы можем рассчитать, сколько же рыбы изымается при промысле. Для расчёта улова в численном выражении И.Ф. Баранов вывел следующее выражение:

$$Y_N = N_0 \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)}) \quad (12)$$

где:

Y_N – улов, выраженный поштучно.

N_0 – Численность популяции или возрастной группы в начале года.

M – коэффициент естественной смертности.

F – коэффициент промысловой смертности.

При необходимости улов может быть выражен и в весовом выражении. В этом случае для расчётов используется формула:

$$Y_W = N_0 B_0 \frac{F}{G-(F+M)} (e^{G-(F+M)} - 1) \quad (13)$$

С помощью выражений (11) и (12) И.Ф. Баранов впервые оценил зависимость величины улова от биологических особенностей популяции. В частности, им было отмечено, что при некоторых значения естественной смертности на кривых уловов имеются точки перегиба. В среднем же максимум улова приходится на значения промысловой смертности, которые близки к показателям естественной смертности.

Возрастная структура улова

При обловах отцеживающими орудиями лова рыбы, имеющие размеры меньшие некоторой определенной величины, будут проскакивать через ячею, причем тем в большей степени, чем больше их длина отклоняется от «оптимальной». Более крупные рыбы, которые не могут пройти через ячею, полностью улавливаются орудием лова, причем соотношение их численности в улове будет, очевидно, таким же, как и в водоеме.

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

Правая часть кривой улова в неселективном орудии лова параллельна кривой населения, а левая (до точки перегиба) будет отражать селективность используемого орудия. Учитывая, что правая часть кривой улова параллельна кривой населения, с форма будет различна для стабильной и нестабильной популяций.

Стабильная популяция. Закономерности стабилизации популяции

Стабильная популяция – популяция, возрастная структура и численность которой остаются неизменными в течение определенного промежутка времени.

Кривая населения стабильной популяции характеризуется тем, что численность младших возрастных групп выше, чем старших. В нестабильных популяциях на кривой населения численность старших возрастных групп будет выше, чем численность младших.

Условия стабилизации популяции

Рациональный промысел заинтересован в поддержании эксплуатируемой популяции на некотором относительно стабильном уровне, который обеспечивал бы получение постоянной величины уловов на протяжении неограниченного времени. В связи с этим появляются следующие вопросы:

1. какие условия необходимо соблюсти, чтобы популяция пришла в стабильное состояние;
2. каким образом величина смертности и интенсивность промысла влияют на стабилизацию популяции
3. чем определяется период, необходимый для перехода популяции в стабильное состояние в случае изменения характера воздействия на нее промысла.

Для ответа на данные вопросы согласно основному уравнению Баранова построим простейшую модель популяции, которая затем искусственно приводится в нестабильное состояние.

Анализ динамики модельной популяции позволяет сделать следующие **выводы**:

1. Популяция всегда приходит в стабильное состояние, если численность пополнения и смертность остаются постоянными. Этот вывод указывает, что для длительной стабильной эксплуатации популяции необходимо поддержание начальной численности популяции (пополнения) на определенном расчетном уровне, обеспечивающем достаточную величину уловов. Обычно данная задача решается определением минимальной численности запаса B_{lim} , которая может обеспечить необходимый уровень пополнения.

2. Период стабилизации популяции равен количеству возрастных групп и не зависит от начальной численности популяции и величины смертности. Обычно данный период равен максимальной продолжительности жизни рыб t_{λ} . Таким образом, оценка воздействия каких-либо факторов на популяцию может быть произведена не ранее, чем через период, соответствующий максимальной продолжительности жизни рыб данной популяции.

Флюктуации численности популяций

Изучение реальных популяций показало, что закономерности динамики численности могут быть гораздо сложнее. В частности, очень часто наблюдаются такие изменения численности, которые могут подчиняться определенным закономерностям.

Флюктуации - периодические и относительно закономерные колебания численности популяции под воздействием ряда факторов.

Выделяются два типа флюктуаций.

Флюктуации, обусловленные действием внешних факторов среды, из которых наиболее важными являются условия воспроизводства. Ввиду периодических колебаний окружающей среды, связанных, например, с динамикой солнечной активности (приблизительно 11 лет), появляется урожайное поколение. В зависимости от величины естественной смертности

это поколение существует в течение определенного времени и изменяет возрастную структуру.

Могут иметь место закономерные колебания структуры, связанные с фактором саморегуляции. Для окуня озер Северо Запада обнаружено, что в некоторых популяциях происходит периодическая смена доминирующих возрастных групп: в одни годы доминируют по массе неполовозрелые особи, а в другие - половозрелые (Жаков, 1984).

Механизм таких флюктуаций объясняется тем, что повышении рождаемости молоди в отдельные годы приводит к усиленному выеданию ее своими же более крупными особями. Это влечет за собой снижение биомассы младших возрастных групп и увеличение биомассы старших особей.

Вопросы для самоконтроля.

1. Дайте определение терминам «популяция», «стадо», «единица запаса»?
2. Что такое «кривая выживания» и какими факторами определяется ее форма?
3. Что такое «кривая населения» и какими факторами определяется ее форма?
4. Основное уравнение Баранова для динамики численности популяции?
5. Основное уравнение Баранова для динамики биомассы популяции, возраст «кульминации ихтиомассы»?
6. Основное уравнение улова?
7. Кривая улова и ее соотношение с кривой населения?
8. Стабильная и нестабильная популяция, их признаки?
9. Условия стабилизации популяции?
10. Что такое «флюктуации» в промысловой ихтиологии?

Литература [2,3,4]

ТЕМА 2. ПРОМЫСЕЛ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ

Промысел – процесс изъятия гидробионтов из среды их обитания при помощи различных орудий.

Особенности взаимосвязи в системе «запас-промысел»:

- Параметры промысла определяют его воздействие на запас.
- Запас, в свою очередь, определяет характер промысла.
- Точность оценки запаса определяется используемыми орудиями лова.
- Источником любой информации о запасе всегда выступает улов.

Классификация орудий лова и принцип действия орудий лова разного типа.

Действие всех орудий лова заключается в создании некоторой зоны, попав в которую рыба не может уже ее покинуть. Удерживающая зона создается различными способами (механическая преграда, лабиринт, удержание, лишение подвижности и т.п.).

Рыба может попадать в зону удержания в результате:

- управления орудием лова (правильный выбор конструкции, правильная ориентация в пространстве);
- управления объектом лова (привлечение, сбивание в плотные группы и направление рыбы в зону облова).

Все орудия лова делят на активные и пассивные.

По принципу действия и способу применения орудия промышленного рыболовства делятся на следующие группы.

Объячеивающие орудия лова. Эти орудия лова, представляющие, собой вертикально установленную в воде сетную стенку, выставляются на пути движения рыбы. Пытаясь пройти через эту преграду, рыба застревает (объячеивается) в ячейках сети. Пройти через сеть рыбе мешают размеры ее тела,

которое по периметру сечения больше размеров ячеи, а выйти оттуда не позволяют жаберные крышки рыбы. Если размеры ячеи не соответствуют размерам рыбы, то такая рыба либо свободно пройдет через сеть, либо, не объежившись, уйдет в сторону. Такие орудия лова чаще всего называют сетями или жаберными сетями.

При дрейфтерном лове отдельные сети длиной 20—30 м и высотой 10—15 м соединяют одну с другой по 80 — 120 штук, в результате чего образуется дрейфтерный порядок длиной 2 — 3 км. К верхней подбуре сети крепят на поводцах резиновые буи. Изменяя длину поводцов, сети можно устанавливать на различной глубине. Дрейфтерный порядок всегда стараются установить поперек пути перемещения рыбы.

Процесс лова дрейфтерными сетями включает такие операции, как постановка порядка в определенном направлении, свободный дрейф судна с порядком по ветру и течению (6—12 ч) и выборка порядка с пойманной рыбой на борт судна.

Отцеживающие орудия лова. Принцип их действия заключается в том, что орудием лова в виде сетной стенки обметывают некоторую часть водоема, а потом орудие лова вытягивают на берег или подбирают к борту судна. Вода проходит сквозь ячеи сетного полотна (отцеживается), а рыба, не объеживаясь, остается в орудии лова. Наибольшее распространение в этой группе орудий лова получил кошельковый невод — сетная стенка большой длины (несколько сотен метров) и высоты (несколько десятков метров), которую выметывают с судна вокруг косяка рыбы. Низ невода снабжен кольцами, через которые проходит стяжной трос. Выбирая стяжной трос, стягивают низ невода и преграждают рыбе выход из него. С помощью специальных грузовых устройств стенки невода подбирают на судно, а оставшуюся рыбу рыбонасосом или каплером (больших размеров сетной конус на обруче) перегружают на судно. Лов рыбы такими неводами получил название кошелькового промысла. В настоящее время он широко используется в открытых морях и океанах. В

качестве промысловых судов, работающих с кошельковым неводом, используют среднетоннажные суда (типа СРТР), специально приспособив их для этой цели. В последние годы появились крупнотоннажные суда водоизмещением более 4000 т для лова кошельковым неводом тунца.

Тралящие орудия лова. Принцип их действия заключается в том, что орудие лова в виде сетного конусообразного мешка буксируют по водоему, захватывая встречающуюся на пути рыбу. К тралящим орудиям лова относятся донные невода (снюрреводы), близнецовые тралы и собственно тралы.

Близнецовые тралы получили свое название от использования на лову двух одинаковых по типу судов — близнецов. Эти суда, следуя параллельными курсами и с одинаковой скоростью, буксируют трал за два ваера. В этом случае горизонтальное раскрытие трала обеспечивается положением двух ваеров, а вертикальное — плавом и грузом.

Трал буксирует одно судно. В этом случае горизонтальное раскрытие трала достигается с помощью распорных досок — больших щитов, идущих под некоторым углом к потоку воды, а вертикальное — за счет специальной оснастки трала грузом и плавом. Траловый промысел бывает донным и пелагическим (разноглубинным). В настоящее время траловый лов — наиболее механизированный и перспективный вид промысла, который дает свыше 80 % всей добываемой рыбы в нашей стране.

Стационарные орудия лова. Это различной конструкции неподвижные ловушки, куда рыба входит свободно, а выход из них рыбе затрудняет лабиринт сетных стенок.

Наибольшее распространение в этой группе получили прибрежные орудия лова — ставные невода. Это большая сетная камера с суживающимся или закрывающимся входом, в который рыба направляется с помощью сетной стенки — крыла невода. Крыло устанавливают от берега до входа в ловушку.

Коллющие орудия лова. Они разделяются на остроговые и крючковые. К первым относятся остроги, копыя, гарпуны и др. В промышленном рыболовстве

из перечисленных орудий лова этой группы применяли лишь гарпуны на китобойном промысле. Гарпуны снабжают разрывными гранатами и выстреливают из пушки. Разрываясь в теле кита, граната его убивает или тяжело ранит.

Крючковые орудия лова применяют в основном при ярусном промысле. Ярус (перемет) состоит из хребтины — длинного (10—70 км) прочного троса с прикрепленными к нему на поводках буйками и крючками. Поплавки удерживают ярус на заданной глубине. На крючки насаживают естественную или искусственную наживку. Работу с ярусом выполняют на специально оборудованных судах с ярусоподъемниками.

Прочие орудия лова. Сюда условно относят все орудия лова, не вошедшие в ранее описанные группы. Это в основном местные разновидности существующих орудий лова, однако некоторые из них, например, рыбонасосы, имеют важное значение в промышленном рыболовстве.

Параметры орудий промысла.

Орудия лова характеризуются размерами, уловистостью, селективностью и единицами промыслового усилия.

Размеры орудия лова определяют величину зоны его действия. Набор параметров зависит от конструктивных особенностей того или иного орудия. Например, для разноглубинного трала обловленный объем определяют по формуле:

$$V = abS \quad (14)$$

где V – процеженный объем воды; a – вертикальное раскрытие трала; b – горизонтальное раскрытие трала; S – длина ваеров.

Для ставных сетей объем зоны удержания рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{\pi l^2 na}{4} \quad (15)$$

где V – объем зоны удержания; l – длина одной сети; a – высота сети; n – количество сетей в порядке.

Уловистость – способность орудия удерживать пойманную рыбу. Определяется конструкцией орудия лова, его активностью, особенностями поведения объектов лова, иногда зависит от времени лова.

Уловистость орудия лова оценивается через коэффициент уловистости, который рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{Y_N}{N} \quad (16)$$

где q – коэффициент уловистости; Y_N – количество рыбы, пойманной данным орудием лова, N – общее количество рыбы в зоне действия орудия лова.

Практическое определение коэффициента уловистости является сложной задачей, поскольку:

1. Трудно определить общее количество рыбы в зоне действия орудия лова.
2. Коэффициент уловистости может меняться в зависимости от условий, в которых ведется промысел (сезон лова, температура воды и т.п.).
3. Коэффициент уловистости зависит и от вида рыбы: активные рыбы могут избегать активных орудий лова, но чаще попадают в пассивные.

Для оценки коэффициента уловистости можно использовать метод мечения

$$q = \frac{Y_{mark}}{N_{mark}} \quad (17)$$

Скорость движения рыб (В.А. Ионас, 1976)

$$q = 1 - \frac{V_0}{V} \quad (18)$$

V_0 – скорость траления, при которой улов равен 0, V – фактическая скорость траления.

Параллельный облов двумя орудиями, коэффициент уловистости одного из которых определен заранее, также часто используется для оценки уловистости тех или иных орудий лова.

Селективность – способность орудия лова улавливать рыбу разного размера. Она определяется для сетных орудий лова **шагом** ячеи, а для крючковых орудий – размером крючка.

Ячея сетных орудий лова имеет три измерения:

a – шаг ячеи – расстояние между центрами двух соседних узлов когда ячея вытянута в жгут;

d – размер ячеи – расстояние между центрами противоположных узлов ячеи, когда ячея вытянута в жгут;

d_k – внутренний (конвенционный) размер ячеи – расстояние между внутренними краями противоположных узлов ячеи.

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

Кривая (огива) селективности – кривая, описывающая зависимость коэффициента селективности от длины рыбы.

Для отцеживающих орудий лова кривая селективности имеет S-образную форму с точкой перегиба при длине L_c . В данном случае L_c определяет промысловый размер. Соответственно и шаг ячеи у таких орудий лова рассчитывают с учетом объекта лова и его промысловой длины:

$$a = bL_c \quad (19)$$

где a – шаг ячеи; L_c .- промысловая длина рыбы; b – видоспецифический коэффициент.

Кривая селективности объеживающих орудий лова обычно имеет одновершинную форму с пиком, приходящимся на рыб определенной длины. Расположение пика зависит от шага ячеи. При длине слева от пика рыбы проходят через ячею и не улавливаются, а при длине больше пиковой рыба избегает сетей, так как не проходит в них достаточно далеко для того, чтобы запутаться в сети.

Если сеть двух- или трехстенная, совокупная кривая селективности такой сети может иметь 2-3 вершины.

Селективность крючковых орудий лова определяется способностью рыбы заглотить крючок с приманкой. Однако после достижения определенных размеров рыб селективность крючковых орудий лова резко снижается, поскольку крупная рыба либо игнорирует мелкий крючок, либо часто обрывает поводок. Таким образом для крючковых орудий лова левая часть кривой селективности будет иметь вид S-образной кривой, а правая – нисходящую форму.

Параметры промысла.

Параметры промысла предназначены для оценки его интенсивности, результатов и степени воздействия на эксплуатируемый запас. К ним относят время лова, промысловая мощность, интенсивность промысла и величина промыслового усилия. Производной величиной является улов на единицу промыслового усилия.

Время лова (T_f) – это продолжительность ведения промысла в течение года. Может выражаться как в единицах времени, так и в количестве промысловых операций за определенный период (например, при характеристике промысла с помощью неводоулов).

Промысловая мощность – объем воды W_f или площадь водоема S_f , которая облавливается определенным видом промысла или типом орудий лова за единицу времени.

Промысловое усилие – количество усилий, затрачиваемых на ведение промысла. Выражается в количестве промысловых операций, отнесенных к единице времени. Примеры: час траления, сете-сутки лова, орудие-сутки лова (для ловушек), количество судов на промысле и т.п. Данный параметр часто выступает как выражение уровня промысловой смертности.

Интенсивность промысла I – отношение обловленной площади или объема воды к площади или объему всего водоема. Также может быть выражена

через количество промысловых усилий, приходящееся на единицу площади водоема.

Улов на усилие (*CPUE* или *Y/f*, *Catch per Unit Effort*) – отношение величины улова к промысловому усилию, затрачиваемому на его добычу. Является важнейшей характеристикой системы запас-промысел», так как:

1. Величина определяет экономическую эффективность ведения промысла.

2. Улов на усилие может выступать некоторым показателем численности рыб, поскольку эта величина прямо пропорциональна численности и концентрации рыбы. Таким образом, через мониторинг динамики показателей уловов на усилие можно судить о динамике численности самого запаса.

Вопросы для самоконтроля.

1. Дайте определение промысла?
2. Основные принципы действия орудий лова?
3. Классификация орудий лова?
4. Принцип работы отцеживающих орудий лова?
5. Принцип работы орудий лова-ловушек?
6. Принцип работы объеживающих орудий лова?
7. Принцип работы крючковых орудий лова?
8. Параметры орудий лова?
9. Шаг ячеи, размер ячеи и конвенционный размер ячеи, их соотношение?
10. Уловистость орудий лова коэффициент уловистости?
11. Селективность орудий лова, кривые селективности орудий лова разного типа?
12. Какие параметры промысла используются для его оценки?

ТЕМА 3. ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Любой промысел направлен на эксплуатацию продукционных свойств эксплуатируемой популяции рыбы. Поэтому для организации рационального рыболовства необходимо оценить основные характеристики популяции 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.

Рассматривая популяцию как совокупность (систему) особей, можно применить системный подход к классификации параметров ее описывающих.

Популяционные параметры подразделяются на две группы - статические и динамические.

Статические параметры популяции

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

Например, проведя контрольный облов на водоеме, мы можем оценить плотность популяции, рассчитать ее величину (численность или биомассу), 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 или иной вид структуры. Все эти параметры существуют в данный момент времени.

Величина популяции в промысловой ихтиологии характеризуется численностью N и биомассой B_w , хотя с общеэкологической точки зрения для

характеристики величины популяции используется целый набор показателей, знание которых может быть полезным и применительно к промышленным запасам.

Величина популяции может быть представлена в виде абсолютных и относительных показателей.

Абсолютная численность (B_N, N) – количество особей популяции в пределах ареала, водоема или промышленного участка. Единицы измерения – экз., тыс экз., млн экз.

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

Промысловый запас (FSB) - численность или биомасса популяции или ее части в пределах промышленного района, для которого устанавливаются единые правила регулирования промысла (*ППП*).

Плотность или концентрация ($B_N/S, B_w/S$) - характеризует величину популяции, отнесенную к единице пространства (площади или объема $B_N/V, B_w/V$). Единицы измерениями экз./м², экз./м³, кг/га.

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.

В общем случае связь между абсолютной и относительной численностью может быть самой различной. Например, зависимость между численностью и величиной улова на усилие активного орудия лова - трала или невода - представляет собой простую линейную функцию. Такая же связь, вероятно, может существовать между численностью родительского стада и количеством отложенной икры (хотя из-за изменения соотношения между численностью половозрелой части популяции и молодь она иногда нарушается).

Следовательно, численность или концентрация икры может служить индексом численности популяции

Состав популяции

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

Состав может быть представлен в качественных и количественных показателях.

Качественный состав – это список групп особей, составляющих популяцию, выделенных по какому-либо признаку. Наиболее часто применяют следующие признаки, характеризующие качественный состав популяции:

- размеры рыб;
- возраст рыб;
- пол;
- стадии зрелости.

Могут применяться иные признаки для выделения типов качественного состава.

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, например:

•*размерный состав* - численность или ихтиомасса отдельных размерных групп;

•*возрастной состав* - численность или ихтиомасса отдельных возрастных групп;

•*половой состав* - численность или ихтиомасса особей различных полов;

•*репродуктивный (генеративный) состав* - численность или ихтиомасса особей, находящихся на различных стадиях зрелости.

Все они имеют значение при анализе популяций. Например, прогноз появления высокоурожайного поколения, свидетельствует о возможном последующем увеличении улова после вступления его в эксплуатацию.

Наиболее важными показателями количественного состава являются промысловый запас, биомасса нерестового стада, эксплуатируемый запас, которые будут рассмотрены ниже.

Структура популяции

Структура - это способ организации системы особей, составляющих популяцию. Структура характеризуется соотношением численностей или биомасс особей, сгруппированных по определенному признаку. При этом оказывается неважным, какова абсолютная численность или биомасса отдельных частей, имеет значение лишь соотношение между ними, выраженное в долях от единицы или процентах по отношению к общей численности:

Собственная структура характеризует способ организации популяции без учета ее связи с внешней средой. Собственная структура характеризует способ организации изолированной популяции. Эту популяцию можно изъять из водоема и оценить все виды собственных структур, описанных выше.

Экологическая структура определяется дифференциацией особей с учетом различия их экологических свойств.

К числу собственных структур могут быть отнесены следующие:

- размерная структура;
- возрастная структура;
- половая структура;
- репродуктивная структура;
- нерестовая структура.

Экологическая структура может быть сведена к нескольким наиболее важным.

Пространственная структура характеризует соотношение численности группировок рыб, обитающих в различных участках водоема. Для морей и

внутренних водоемов наиболее характерно распределение, когда молодь обитает в прибрежной зоне, а взрослые рыбы - в более глубоководной части водоема. Выделение пространственной структуры имеет важное значение в регулировании рыболовства. Например, типичными мерами являются: ограничение промысла на участках, где концентрируется молодь, запрет промысла на нерестилищах и путях миграций к ним, распределение квот и нормирование промыслового усилия в зависимости от пространственной структуры популяции.

Перейдя от популяции на уровень ихтиофауны, также можно выделить несколько видов пространственной организации, которая даже законодательно закреплена в Законе о рыболовстве. Выделяются следующие экологические группы рыб:

анадромные виды рыб, воспроизводящихся в реках, озерах и других водоемах Российской Федерации, совершающих затем миграции в море для нагула и возвращающихся для нереста в места своего образования;

катадромные - виды рыб, проводящих большую часть своего жизненного цикла в водах Российской Федерации, в том числе во внутренних водах и в территориальном море;

трансграничные - виды рыб, моллюсков и ракообразных, за исключением живых организмов «сидячих видов», а также другие живые ресурсы, встречающиеся как в исключительной экономической зоне, так и в находящемся за ее пределами и прилегающем к ней районе, которые являются единым ареалом обитания этих видов живых ресурсов;

трансзональные - виды рыб, встречающихся в исключительной экономической зоне и в прилегающих к ней исключительных экономических зонах иностранных государств, которые являются единым ареалом обитания этих видов живых ресурсов;

далеко мигрирующие виды - виды рыб и китообразных, способных совершать миграции на большие расстояния и встречающихся в промысловых

скоплениях как в исключительной экономической зоне, так и далеко за ее пределами.

Эколого-репродуктивная структура обусловлена дифференциацией популяции на части, отличающиеся по характеру размножения. Примером такой структуры может служить существование летней и осенней семги, озимых и яровых рас осетровых, карликовых самцов Лососевых.

Трофическая структура характеризует соотношение численности или ихтиомассы частей популяции, различающихся по характеру питания.

Промысловая структура представляет собой способ организации популяции с точки зрения взаимодействия с промыслом как экологическим фактором. В этой связи может быть, по крайней мере, две части популяции одну составляю те особи, которые не удерживаются орудиями лова и проскакивают через ячею; другую - особи, которые улавливаются.

Динамические параметры популяции

Сами по себе статические параметры не остаются постоянными, а изменяются во времени. 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 *«динамические»*. В свою очередь динамические параметры подразделяются на две группы.

Динамические параметры, измеряемые в единицах скорости. К ним относятся четыре параметра, используемых в уравнении Рассела:

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

4. вылов F - скорость уменьшения численности популяции под воздействием промысла.

Имеются динамические параметры, выражаемые как эффект динамического процесса, происшедшего в течение определенного периода времени (сутки, месяц, год).

К ним относятся:

продукция P – прирост биомассы популяции (суммарный прирост массы всех особей) за определенный промежуток времени;

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

Промыслово-биологические параметры

«Промыслово-биологическими» называются параметры, связанные с эмерджентными свойствами популяции, которые проявляются во взаимодействии ее с промыслом. Как было отмечено в главе, посвященной параметрам рыболовства, особенность мониторинга водных биоресурсов заключается в том, что параметры, за которыми происходит слежение, так или иначе преломляются через промысел - селективные свойства орудий лова и организацию самого процесса. Многие из них в чистом виде в природе не существуют.

При этом данные параметры сами являются некоторой характеристикой промысла, и с их помощью может осуществляться адаптивное управление рыбохозяйственной системой. Не случайно большинство мер управления основывается не на данных о собственно добывающей базе или биологии эксплуатируемого запаса, а на анализе промыслово-биологических параметров - прилове молоди, изменении размерного и возрастного состава уловов, прилове целевого вида.

Промыслово-биологические параметры могут быть разделены на две группы - *статические*, которые определяются непосредственно в процессе

анализа улова, и *интегральные*, являющиеся производными статических параметров.

К числу статических параметров относятся величины уловов данного вида в поштучном и весовом выражении, состав улова в поштучном и весовом выражении, структура улова, которая может быть интерпретирована как собственная - размерная, возрастная и экологическая, связанная с уловами других видов. В этом случае изучаемая популяция будет характеризоваться ее долей в улове.

Интегральные параметры в зависимости от источника информации подразделяются на *биологические* и *промысловые*. Первые являются производными размерной структуры. К ним относятся средняя длина и навеска особи в улове, прилов немерных особей. Последний параметр является не чем иным, как проявлением промысловой структуры популяции.

Промысловые интегральные параметры включают показатели улова, приходящегося на единицу промыслового усилия, индексы численности и биомассы. Они также определяются не напрямую, а рассчитываются на основе сопоставления величины улова и промысловой мощности.

Промысловая структура популяции

Описание популяции, которая подвергается воздействию промысла (эксплуатируется), существенно отличается от общебиологического. Разновозрастные группы имеют различное значение с точки зрения их эксплуатации.

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 популяций.

В общем случае структура популяции может быть описана исходя из следующих соображений: с момента рождения рыба подвергается воздействию

множества естественных факторов, а в последующем и промысла, в результате чего ее численность постоянно уменьшается. В стабильной популяции, независимо от того, облавливается она или нет, численность каждой более старшей возрастной группы всегда меньше, чем численность более младшей. Следовательно, возрастная структура популяции может быть описана в виде нисходящей кривой, которую мы и будем в дальнейшем рассматривать (рис.).

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

Общий запас состоит из особей всех возрастных групп от 0 до t_A

Предельный возраст — предельный возраст жизни рыбы в промысловой стадии. Фактически он может быть принят равным тому возрасту, до которого доживают наиболее старые особи вида, участвующие в промысле.

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

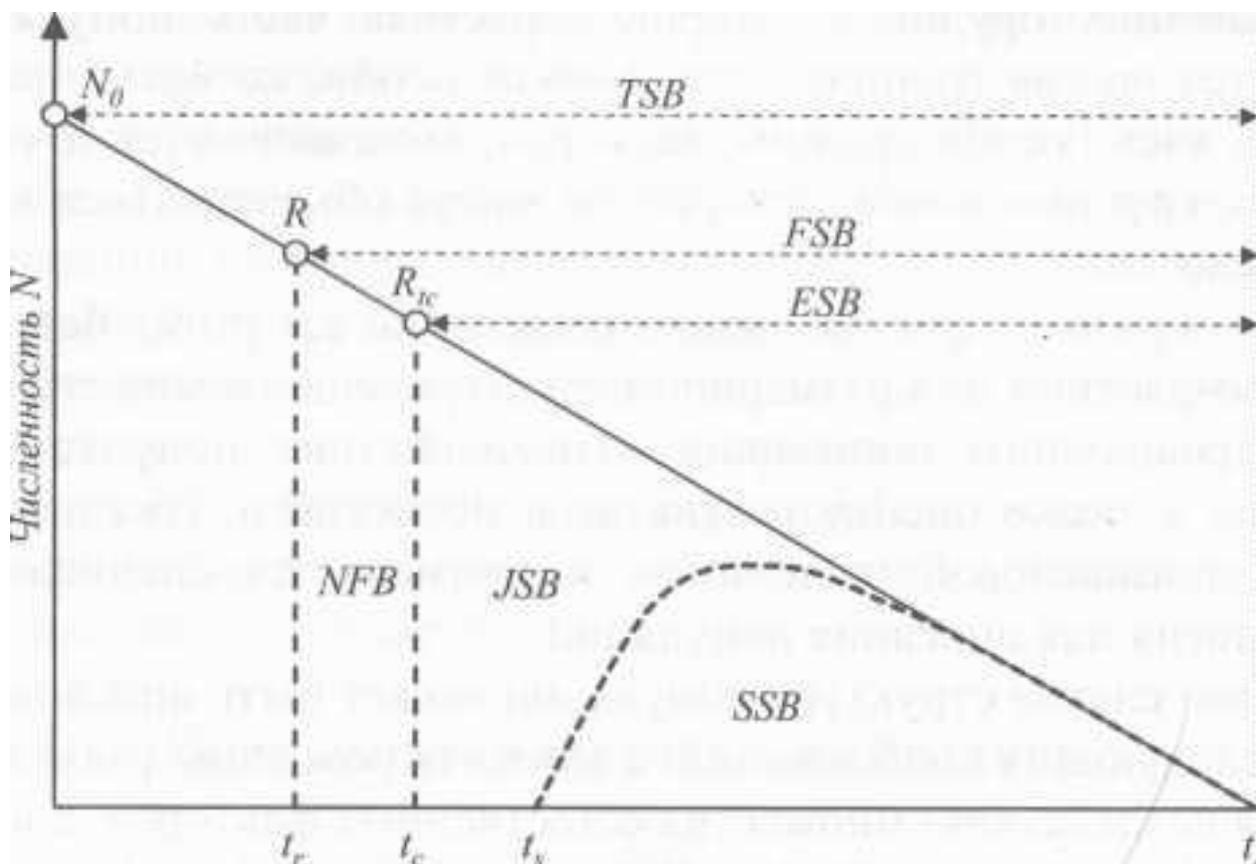


Рис. 1. Промысловая структура популяции

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 другой состав пищи (обычно смена планктонного на бентосное питание или хищничество), совершает вместе с взрослыми особями определенные миграции и теоретически может быть отловлена.

Промысловый запас (стадо) (*Fishery Stock Biomass FSB, 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_L .

Поколение (когорта) - рыбы, родившиеся в одном году, - од- новозрастные особи, возрастная группа.

Пополнение R - рыбы одного поколения, которые, достигнув возраста t_r , вступают в промысловое стадо, становятся доступными для промысла и теоретически могут быть отловлены. Однако фактически рыбы изымаются промыслом не сразу с возраста t_r , а несколько позже, когда, в зависимости от селективности орудий лова (обычно шага ячеи), они не смогут проходить через ячею и будут улавливаться.

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 селективностью используемых орудий лова в зависимости от их типа:

для отцеживающих орудий t_c равен возрасту, в котором рыба достигает такого размера, что не может пройти через ячею в области максимального обхвата тела;

для объеживающих возраст t_c равен минимальному возрасту, при котором обхват рыбы становится таким, что рыба может объеживаться в сети - проходить в ячею дальше жаберных крышек и не проходить в районе максимального обхвата тела;

для крючковых снастей возраст t_c равен минимальному возрасту, при котором рыба достигает такой длины, что способна заглотить крючок.

Эксплуатируемый запас (стадо) (Exploited Stock Biomass) может выражаться в численности ESN или биомассе ESB . Это часть промыслового запаса, которая фактически облавливается. Он ограничивается возрастом первой поимки t_c и предельным возрастом жизни рыбы t_l .

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

Возраст наступления половозрелости (созревания) t_s - возраст, в котором рыбы становятся половозрелыми и могут принимать участие в воспроизводстве. Созревание у всех особей поколения происходит не одновременно и растягивается на несколько лет. 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_l .

Принципы оценки абсолютной численности рыб

Оценка величины запаса является весьма сложным и достаточно дорогостоящим мероприятием, а от ее точности зависят обеспечение стабильности популяции и экономические результаты промысла. Сложность заключается в том, что каждая единица запаса обладает определенными

особенностями распределения в пространстве, динамики во времени, степенью доступности для лова в силу специфики морфометрии водоема, поэтому невозможно без участия эксперта достаточно высокого уровня взять какую-либо формулу и рассчитать численность той или иной популяции. Не случайно на большинстве промысловых водоемах России, а также в морях и океанах формировались свои собственные методы и приемы оценки запасов рыб, которые лишь базируются на некоторых общих принципах.

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 все методы разделяются на методы прямой оценки численности и косвенные методы.

Все методы оценки абсолютной численности рыб можно свести к четырем принципиально различным подходам — тотальному учету, выборочному учету, методу мечения и методу накопленного улова.

Тотальный учет

Суть подхода: просчитываются все особи популяции. В ихтиологии тотальный учет возможен в следующих случаях:

На рыбоводных прудах, когда спускается вся вода, а рыба остается в уловителях;

К при тотальном облове озер по специальной схеме;

При обработке водоемов ихтиоцидами с целью очистки водоема от аборигенной фауны перед зарыблением. В результате вся щогибшая рыба подвергается учету.

Преимущества метода:

дает наиболее точную оценку величины популяции;

в ряде случаев сопутствует другим видам работ и не требует специальных затрат.

Недостатки метода:

обычно большая трудоемкость;

методы приводят к исчезновению популяции, что исключает возможность последующего управления ею.

Выборочный учет

Метод выборочного учета называют также метод прямого учета, методом площадей, методом пробных площадок, методом траловых, неводных, мальковых, гидроакустических учетных съемок.

Суть подхода: водоем разбивается на участки, на которых тем или иным способом (тралом, неводом., эхолотом) оценивается плотности популяции. Простое перемножение средней плотности по всем станциям на площадь водоема дает оценку абсолютной численности.

$$b_N = \sum_{i=1}^n b_{Ni} \quad (20)$$

$$B_N = qb_N S \quad (21)$$

B_N – численность популяции в водоеме;

b_N – средняя плотность рыб на отдельном участке;

b_{Ni} – фактическая плотность рыб на участке i ;

q – коэффициент уловистости;

S – общая площадь водоема.

Точность оценки величины запаса зависит от двух основных факторов:

точности определения концентрации рыбы на станции, которая, в свою очередь, зависит от правильности учета зоны облова, коэффициента уловистости, доступности рыбы для учета гидроакустикой;

метода нахождения средней концентрации, который, в свою очередь, определяется принимаемой гипотезой о характере пространственного распределения рыбы.

В ихтиологии обычно используются различные гипотезы пространственного распределения рыб, но наиболее часто гипотеза нормального распределения и гипотеза логнормального распределения.

Метод мечения

Суть подхода: из популяции отлавливают часть особей метят тем или иным способом, а затем выпускают обратно в водоем. Мечение может осуществляться путем установки специальных меток, вводом под кожу рыбы различных красителей или просто надрезанием одного из плавников. Для Лососевых видов, например, обычным способом мечения является удаление жирового плавника.

По истечении некоторого времени, когда меченые и немеченые особи равномерно перемешаются, производится контрольный облов. На основании простой пропорции по соотношению меченых и немеченых особей в контрольном облове может быть определена общая численность популяции.

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. Популяция, ее состав и структура.
2. Собственная структура популяции.
3. Экологическая структура популяции.
4. Биологические и промыслово-биологические параметры популяции.
5. Статические параметры
6. Динамические параметры
7. Промысловая структура популяции.
8. Методы оценки численности и биомассы популяции.

[1,3,4]

ТЕМА 4. РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ

В общем виде динамика биомассы эксплуатируемой популяции гидробионтов описывается уравнением Рассела:

$$B_2 = B_1 + (R + G) - (M + F) \quad (22)$$

B_1 – биомасса популяции в начале года;

B_2 – биомасса популяции в конце года;

R – пополнение;

G – рост;

M – естественная смертность;

F – вылов.

Под **ростом** в данном случае понимают изменение суммарной биомассы всех возрастных групп популяции во времени. Биомасса каждой возрастной группы определяется как:

$$B_t = N_t W_t \quad (23)$$

B_t – биомасса возрастной группы;

N_t – численность возрастной группы;

W_t – средняя индивидуальная масса особи.

Таким образом изучение роста популяции заключается в:

- определении закономерности изменения численности возрастных групп (формальная теория жизни рыб И.Ф. Баранова);
- оценке закономерностей индивидуального роста;
- изучении возрастной динамики популяции;
- определении закономерностей роста все популяции.

Индивидуальный рост.

Индивидуальный рост особи характеризуется двумя показателями:

Линейный рост – изменение длины рыбы во времени.

Весовой рост – изменение массы рыбы во времени.

Между линейными и весовыми характеристиками существует четкая зависимость, описываемая степенным уравнением вида:

$$W = w_0 L^{w_1} \quad (24)$$

w_0 и w_1 – видоспецифичные коэффициенты, определяемые формой тела рыбы. w_1 может изменяться от 2,0 у рыб с прогонистым телом до 3,2 у высокотелых и округлых рыб. Кроме того, обычно у самок данный коэффициент выше чем у самцов.

Для приближенной оценки зависимости массы рыбы от ее длины часто используют кубическую зависимость, принимая $w_1=3$. В данном случае величина $w_0 = W/L^3$ представляет собой коэффициент упитанности по Фультону.

Для определения эмпирических коэффициентов зависимости «длина-масса» можно использовать прологарифмированное степенное уравнение, которое будет иметь вид:

$$\ln W = \ln w_0 + w_1 \ln L \quad (25)$$

Коэффициенты данного уравнения находятся по методу наименьших квадратов.

Определение параметров данной зависимости имеет важное значение при полевых исследованиях, поскольку в некоторых случаях измерить длину рыб значительно проще, чем их массу, и в ряде случаев более выгодно проводить сбор данных именно по длине особей, а пересчет на массу осуществлять уже с использованием известных заранее коэффициентов.

Для описания собственно роста может быть использована одна из 5 функций: линейная, экспоненциальная, степенная, уравнение Форда-Уолфорда и уравнение Берталанфи.

1. Линейная функция.

Главным постулатом является постоянство скорости роста. Соответственно для линейного и весового роста уравнения будут иметь вид:

$$L_t = L_0 + K_L t \quad (26)$$

$$W_t = W_0 + K_W t \quad (27)$$

L_0 и W_0 – длина и масса особи в нулевом возрасте.

На графике такие зависимости – прямые линии, а тангенс угла их наклона равен K .

Данная модель роста довольно точно описывает линейный рост рыб, но в большинстве случаев неприменима для описания их весового роста.

2. Экспоненциальная функция.

При использовании данного типа зависимости считается постоянной не сама скорость роста, а коэффициент ее изменения. Например:

$$\frac{dL}{dt} = G_L L \quad (28)$$

где $G_L = \text{const}$.

После интегрирования таких выражений уравнения линейного и весового роста в экспоненциальном виде будут иметь вид:

$$L_t = L_0 e^{G_L t} \quad (29)$$

$$W_t = W_0 e^{G_W t} \quad (30)$$

Данные выражения могут быть представлены в логарифмическом виде. Например, для весового роста:

$$\ln W_t = \ln W_0 + G_W t \quad (31)$$

Хотя экспоненциальное уравнение может свободно описать рост особи в течение всей жизни, обычно оно используется на коротких промежутках времени. Например, в промысловой модели Рикера G_W описывает скорость роста каждой отдельной возрастной группы и может быть рассчитана по формуле:

$$G_{W_t} = \ln \frac{W_{t+1}}{W_t} \quad (32)$$

Экспоненциальная функция не подходит для характеристики линейного роста рыб.

3. Степенная функция.

Степенное уравнение предполагает, что процессе увеличения размеров тела скорость роста уже не является постоянной величиной, а коэффициент ее изменения описывается степенной функцией.

$$L_t = at^b \quad (33)$$

$$W_t = at^b \quad (34)$$

В зависимости от значения коэффициента b графики данного уравнения роста будут отличаться по внешнему виду: при $b > 1$ кривая имеет выпуклую форму (скорость роста увеличивается с возрастом), при $b < 1$ – вогнутую (скорость роста уменьшается с возрастом). Для рыб, как правило, коэффициента b оказывается меньше единицы.

Коэффициент a при использовании данной функции численно равен длине рыбы в возрасте 1 год.

Для определения эмпирических коэффициентов также используются логарифмические формы уравнений:

$$\ln L_t = \ln a + b \ln t \quad (35)$$

$$\ln W_t = \ln a + b \ln t \quad (36)$$

4. Уравнение Форда-Уолфорда.

Уравнение Форда-Уолфорда связывает не длину или массу с возрастом, а значение данного показателя в настоящее время с его значением в предшествующий период:

$$L_{x+1,t+1} = a + bL_{x,t} \quad (37)$$

где:

$L_{x,t}$ – длина возрастной группы x в году t .

$L_{x+1,t+1}$ – длина возрастной группы $x+1$ в году $t+1$.

a, b – коэффициенты.

Коэффициенты данного уравнения также легко находятся с помощью метода наименьших квадратов.

На практике уравнение Форда-Уолфорда используют для:

- 1) нахождения параметров уравнения Берталанфи;

2) составления прогнозов роста с определенной заблаговременностью в зависимости от достигнутых в текущий период размерных показателей;

3) анализа динамики размерно-возрастных групп.

Сам анализ динамики размерно-возрастных групп зависит от оценки возрастной структуры популяции, которая состоит из трех этапов:

a) определение размерного состава популяции через использование данных массовых промеров;

b) получение размерно-возрастного ключа по данным биологического анализа;

c) трансформация размерной структуры популяции в возрастную с помощью размерно-возрастного ключа.

Использование уравнения Форда-Уолфорда позволяет в некоторых случаях обойтись без использования размерно-возрастного ключа и прямо классифицировать имеющуюся размерную структуру как «размерно-возрастную» исходя из предположения, что темп роста рыб в течение нескольких лет изменяется в незначительных пределах. Таким образом, в течение нескольких лет можно использовать один раз оцененные коэффициенты.

5. Уравнение Берталанфи (*von Bertalanffy growth equation VBGE*)

Уравнение Берталанфи исходит из предположения, что скорость роста рыб замедляется по мере достижения определенных размеров L_{∞} .

$$\frac{dL}{dt} = K(L_{\infty} - L) \quad (38)$$

После интегрирования и некоторого преобразования данное уравнение получает свой основной вид:

$$L_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (39)$$

где:

L_t – длина особи в возрасте t .

L_{∞} – предельная длина особей вида.

K – константа роста.

t_0 – начальный возраст, при котором длина особи была равна 0.

График данного уравнения представляет собой асимптотическую кривую, стремящуюся к некоторой величине L_∞ .

Хотя делаются попытки «биологической» интерпретации параметров уравнения Берталанфи, нужно понимать, что все они являются лишь константами, оцениваемыми путем аппроксимации исходных данных и, в значительной степени, зависят от их качества. Этот факт следует учитывать при использовании параметров уравнения Берталанфи, например, для оценки коэффициентов смертности по методам Бивертон-Холта, Тюрина, Паули и т.п.

Принимая во внимание, что между длиной и массой имеется зависимость, близкая к кубической, для весового роста уравнение Берталанфи имеет вид:

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \quad (40)$$

где:

W_t – масса особи в возрасте t .

W_∞ – предельная масса особей вида.

K – константа роста.

t_0 – начальный возраст, при котором длина особи была равна 0.

Для этого уравнения также были предприняты попытки «биологической» интерпретации. В частности, точку перегиба графика пытались привязать к возрасту полового созревания t_s .

Связь уравнения Берталанфи с уравнением Форда-Уолфорда.

Как уже было сказано выше через коэффициенты a и b уравнения Форда-Уолфорда можно оценить параметры уравнения Берталанфи по следующим формулам.

$$L_\infty = \frac{a}{1-b} \quad (41)$$

$$K = \ln b \quad (42)$$

$$W_\infty = \left(\frac{a}{1-b}\right)^3 \quad (43)$$

Для оценки t_0 уравнение Бергаланфи приводится к виду

$$\ln(L_\infty - L_t) = (\ln L_\infty + K t_0) - K t \quad (44)$$

Таким образом получено линейное уравнение вида

$$y = c + dx \quad (45)$$

где: $y = \ln(L_\infty - L_t)$, $c = (\ln L_\infty + K t_0)$, $d = K$

Значение коэффициента c в получившемся уравнении определяется по методу наименьших квадратов, а уже при известном c t_0 рассчитывают по формуле:

$$t_0 = \frac{c - \ln L_\infty}{K} \text{ для линейного роста и } t_0 = \frac{c - \ln W_\infty^{\frac{1}{3}}}{K} \text{ для весового роста}$$

Динамика биомассы популяции (ихтиомассы)

Биомасса популяции определяется ее численностью и средним весом особи. Обычно биомасса всей популяции рассчитывается как сумма биомасс всех ее возрастных групп.

В промысловой ихтиологии важно не только определение общей биомассы популяции, но и ее изменений во времени.

В общем виде динамика биомассы во времени описывается «кривой биомассы», которая строится по уравнению Баранова для биомассы

$$B_{W_t} = B_{W_0} e^{(G_t - Z_t)t} \quad (46)$$

Обычно это выражение в общем виде не используется, а применяется для расчёта изменения биомассы отдельных возрастных групп.

Общая закономерность динамики биомассы популяции заключается в следующем:

1. В момент рождения рыбы имеют максимальную численность, но низкую индивидуальную массу.
2. С увеличением возраста численность уменьшается, но средняя масса особей возрастает.
3. Общая закономерность изменения скорости индивидуального роста заключается в его уменьшении со временем. Следовательно, рано или поздно

наступит момент, когда смертность превысит весовой прирост и биомасса популяции начнет уменьшаться. Перегиб «кривой биомассы» обычно наблюдается при возрасте, близком к возрасту полового созревания t_s .

4. Биомасса достигает нулевого значения в точке, соответствующей предельному возрасту жизни рыб.

Влияние промысла на кривую биомассы.

Положение точки «кульминации ихтиомассы» на кривой биомассы определяется соотношением значений двух параметров: коэффициента роста (G) и коэффициента общей смертности (Z), который в свою очередь определяется показателями естественной смертности (M) и промысловой смертности (F).

С возрастанием интенсивности промысла точка равенства коэффициентов и смещается в сторону младших возрастных групп и возраст, при котором происходит «кульминация ихтиомассы» уменьшается. С увеличением интенсивности промысла наблюдается также уменьшение абсолютной величины биомассы всей популяции.

Таким образом, «возраст кульминации ихтиомассы» ($T_{B_{max}}$) не может служить ориентиром для начала эксплуатации запаса, так как сам зависит от промысла.

Типы роста популяций

В целом для популяций в природе характерно два типа роста: 1) рост при отсутствии лимитирующих факторов среды и 2) рост в условиях действия лимитирующих факторов среды.

1) Ж-образный рост.

При отсутствии ограничивающих рост биомассы популяции факторов он будет проходить по экспоненциальной зависимости

$$B_{W_t} = B_{W_0} e^{rT} \quad (47)$$

Здесь r – это мгновенный коэффициент скорости роста популяции. Он в отсутствие лимитирующих факторов определяется только собственными параметрами, например, удельной скоростью роста отдельных возрастных

групп. Таким образом данный параметр может быть охарактеризован как видоспецифичный.

С параметром r связан ряд понятий из общей экологии.

Биотический (репродуктивный) потенциал r_{\max} – максимальное значение мгновенного коэффициента скорости роста популяции. Это врожденное свойство организмов.

Сопротивление среды Δr – разность между биотическим потенциалом и фактической скоростью роста популяции.

2) S-образный рост.

Хотя экспоненциальный рост и наблюдается у большинства видов растений и животных, его продолжительность в естественных условиях достаточно коротка, поскольку в действие вступают различные факторы, препятствующие бесконечному неограниченному росту.

Регуляция роста популяции может происходить как за счет внешних биоценологических факторов, так и за счет собственных свойств популяции.

S-образный или логистический рост описывается логистическим уравнением. В основе которого лежат следующие положения:

1. Популяции присущ некоторый биотический потенциал r , который при отсутствии лимитирующих факторов обуславливает ее рост по типу J-образного роста.

2. Среда ограничивает рост популяции таким образом, что имеется некоторое значение ее максимальной предельной биомассы, равное K . Параметр K в данном случае называется «емкостью среды».

3. Скорость роста популяции прямо пропорциональна между имеющейся биомассой и K . То есть чем биомасса ближе к максимальной, тем меньше скорость роста популяции.

В дифференциальном виде уравнение логистического роста имеет вид

$$\frac{dB_W}{dT} = rB_W \left(1 - \frac{B_W}{K}\right) \quad (48)$$

В интегральном виде соответственно

$$B_W = \frac{K}{1+e^{-r(T-T_0)}} \quad (49)$$

График уравнения представляет собой S-образную кривую, стремящуюся к некоторому пределу K .

Данный тип роста популяций был впервые предложен П.-Ф. Ферхюльстом (1838), а в 1920 г. переоткрыт американскими математиками Р. Пирлом и Л. Ридом.

Существуют биоценотические и внутривидовые механизмы регуляции роста. Они автоматически включаются после достижения популяцией определенных пороговых значений.

К биоценотическим факторам относят ограниченность пищи, нерестовых площадей, гибель от хищников и болезней, каннибализм и пр.

Данные факторы снижают наличную биомассу популяции, что в итоге ведет к увеличению ее скорости роста

Промысел в данном случае также включен в список внешних факторов и, таким образом, может рассматриваться в качестве инструмента регуляции скорости роста популяции.

Типы стратегий экологического отбора и эволюции

В соответствии с обозначениями двух констант уравнения логистического роста – r и K – в экологии выделяют два типа стратегий экологического отбора.

r -стратегия определяется отбором, направленным на повышение скорости роста популяции в начальный период, когда плотность популяции мала. Отбор проходит по следующим факторам: высокая плодовитость, быстрое половое созревание, короткий жизненный цикл.

Данной стратегии придерживаются прежде всего различные низкоорганизованные виды. Среди рыб типичными представителями с r -стратегией являются мелкие массовые виды: снеток, ряпушка, шпрот. Вероятно, к этой же стратегии можно отнести и тихоокеанских лососей.

К-стратегия направлена на повышение выживаемости в условиях уже стабилизировавшейся численности при сильном воздействии конкуренции и хищников. Отбираются следующие качества: повышение выживаемости каждого продуцируемого потомка, конкурентоспособность, повышение защищенности от хищников и паразитов, совершенствование внутривидовых механизмов регуляции численности.

Характерными представителями этого типа стратегии являются осетровые, акулообразные, крупные карповые. У этих видов имеется сложная популяционная структура, длинный жизненный цикл и достаточно четко выражена связь «запас-пополнение». Часто они характеризуются относительно низкой индивидуальной плодовитостью.

С точки зрения системы «запас-промысел» концепция стратегий экологического отбора может в определенной степени служить обоснованием различий в подходе к эксплуатации. Виды с *r*-стратегией обычно обеспечивают высокую промысловую продуктивность и «выдерживают» высокую интенсивность промыслового использования. *K*-виды напротив требуют умеренного режима эксплуатации.

Регуляция численности популяции

Решение вопроса о механизмах регуляции численности имеет важное значение для охраны и управления популяцией. В настоящее время существует три концептуальных подхода к решению этого вопроса.

Регуляционизм исходит из представления, что каждая популяция обладает определенным уровнем плотности и механизмы регуляции численности включаются в случаях отклонения плотности популяции от оптимальных значений. Например, увеличение смертности и снижение уровня рождаемости.

Стохастизм основан на том, что равновесная плотность – это некоторая средняя величина, вокруг которой происходит постоянное колебание реальных значений.

Общим между первыми двумя концепциями является предположение, что увеличение плотности сверх оптимальной влияет на среду обитания, которая, в свою очередь, воздействует на популяции, снижая ее численность.

Саморегуляция предполагает, что любая популяция способна ограничивать рост численности до наступления негативных последствий превышения оптимальных значений плотности. Это становится возможно, по мнению некоторых исследователей, поскольку при увеличении плотности популяции изменяются не только условия среды, но прежде всего качества самих особей. В качестве механизмов, обеспечивающих саморегуляцию при возрастании численности, выступают:

- 1) увеличение числа контактов между особями и повышение вероятности возникновения стрессового состояния;
- 2) усиление миграционных процессов из основных местообитаний в краевые с менее благоприятными условиями среды;
- 3) изменение генетического состава популяции.

В естественной среде все три концепции находят подтверждение, а регуляция численности природных популяций является совокупным результатом действия всех указанных механизмов.

Продуктивность популяции.

Под **продукцией** понимают суммарный прирост массы всех особей популяции за определенный промежуток времени.

Продуктивность – способность популяции формировать продукцию.

Выделяют чистую и валовую продукцию.

Чистая (реальная) продукция P_R – это продукция (прирост биомассы), которая остается в водоеме после отправления всех функций жизнедеятельности популяции. Может принимать как положительные так и отрицательные значения.

Может быть рассчитана несколькими способами.

I. Продукция отдельной возрастной группы равна разнице биомасс одного и того же поколения в начале и конце периода. А общая чистая продукция – это сумма показателей продукции всех возрастных групп.

$$P_{x,t} = B_{W_{x+1,t+1}} - B_{W_{x,t}} \quad (50)$$

$$P_x = \sum_{t=t_{\min}}^{t_{\lambda}} P_{x,t} \quad (51)$$

II. Уравнение динамики биомассы Баранова при известных коэффициентах G и Z.

$$P_{R_{x,t}} = B_{W_{x,t}} (e^{(G_t - Z_t)} - 1) \quad (52)$$

Валовая продукция P_{Tot} – продукция, образовавшаяся в процессе существования популяции. Она состоит из реальной продукции а также биомасс особей, погибших по естественным причинам или изъятых промыслом.

При известных показателях G и Z для отдельных возрастных групп валовая продукция рассчитывается по формуле

$$P_{Tot_{x,t}} = B_{W_{x,t}} \frac{G_t}{(G_t - Z_t)} (e^{(G_t - Z_t)} - 1) \quad (53)$$

Продукция всей популяции – сумма продукций всех ее возрастных групп.

Изменение продуктивности в процессе роста популяции

В промысловой ихтиологии логистическая кривая роста популяции обычно называется «кривой Йорта». Согласно этой кривой, в начале существования популяции ее продукция невелика в связи с малой численностью. Затем, по мере роста численности популяции ее общая продукция и продуктивность увеличиваются. Достигну в некоторой численности, когда количество пищи на одну особь становится недостаточным, рост популяции замедляется и затем полностью останавливается.

Таким образом, максимальная продукция наблюдается при средней численности популяции, а в зоне максимальной биомассы продукция равна нулю.

Соотношение реальной и общей продукции с ростом популяции также изменяется. В начале существования популяции с общая и реальная продукция увеличиваются параллельно. При достижении определенного уровня биомассы показатель доли реальной продукции начинает снижаться.

Вопросы для самоконтроля.

9. Рост рыб, линейный и весовой рост, зависимость массы от длины тела.
10. Функции, используемые для описания роста.
11. Уравнение Форда-Уолфорда.
12. Уравнение Берталанфи и его параметры.
13. Основное уравнение динамики биомассы эксплуатируемой популяции (уравнение Рассела).
14. Кульминация ихтиомассы, зависимость возраста «кульминации ихтиомассы» от промысловой смертности.
15. Типы роста популяции
16. J-образный рост популяции.
17. S-образный рост популяции
18. r-стратегия отбора.
19. K-стратегия отбора.
20. Механизмы регуляции численности популяции (внутренние и внешние механизмы).
21. Продукция и продуктивность.
22. Чистая и общая продукция.
23. Изменение продуктивности в процессе роста популяции.

[1,3,4]

ТЕМА 5. ВОСПРОИЗВОДСТВО И ПОПОЛНЕНИЕ СТАДА РЫБ

Непрерывное существование популяции обеспечивается за счет постоянно происходящей замены погибших по каким-либо причинам особей вновь рождающимися.

Рождаемость – процесс поступления в популяцию новых особей.

Абсолютная рождаемость – показатель, обозначающий количество особей, родившихся (отложенных, появившихся в результате деления) в популяции за определенный период.

Удельная рождаемость – количество новых особей в расчете на одного родителя.

Мгновенная рождаемость – скорость рождения новых особей за элементарный промежуток времени.

Максимальная рождаемость – теоретический максимум скорости образования новых особей в идеальных условиях (отсутствие лимитирующих факторов среды).

Экологическая рождаемость – пополнение популяции новыми особями при фактических условиях среды.

В ихтиологии система характеристики рождаемости получила широкое развитие. Рождаемость может быть представлена через плодовитость (индивидуальную, популяционную, видовую и пр.), а также через показатели пополнения.

Абсолютная индивидуальная плодовитость – количество икры в гонадах одной самки, которое может быть отложено за один нерестовый период.

Относительная индивидуальная плодовитость – количество икринок, приходящееся на единицу массы самки.

Популяционная плодовитость – количество икры, которое может отложить популяция при имеющейся возрастной половой и репродуктивной структуре.

В.С. Ивлев предложил для расчета популяционной плодовитости использовать следующую формулу

$$E_p = \frac{x \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} E a_t p N_t \times \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} p N_t S_F}{100 \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} p N_t T} \quad (54)$$

где:

E_p – популяционная плодовитость;

$E a$ – абсолютная индивидуальная плодовитость одной особи;

$p N_t$ – относительная численность каждой возрастной группы;

S_F – доля самок в популяции;

T – средний возраст особи в популяции;

x – количество нерестов в течение жизни;

t_λ – максимальный возраст жизни рыбы;

t_s – возраст наступления половой зрелости.

Г.В. Никольский предложил вести расчет популяционной плодовитости на 1000 особей популяции по формуле:

$$E_p = 1000 \times \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} E a_t p N_t S_F \quad (55)$$

Видовая плодовитость – это некоторая характеристика воспроизводительной способности вида. Согласно Б.Г. Иоганезу данный показатель можно определить по формуле:

$$E_{sp} = \sqrt[t_s]{x E a} \quad (56)$$

где:

E_{sp} – популяционная плодовитость;

$E a$ – абсолютная индивидуальная плодовитость одной особи;

p – период между двумя икрометаниями;

x – количество нерестов в течение жизни;

t_s – возраст наступления половой зрелости.

Таким образом, в ихтиологии различным видам рождаемости соответствуют различные показатели плодовитости.

Специфическим для ихтиологии понятием является эффективность нереста. Этот показатель зависит от множества гидрологических параметров, а также от наличия достаточного количества нерестовых площадей. Данный показатель может выражаться в количестве кладок икры, их плотности, плотности и количестве пелагической икры и личинок рыб, количестве скатывающейся молоди и т.п.

Однако знание популяционной плодовитости и эффективности нереста еще не является достаточным для прогнозирования динамики численности популяции. С момента откладки икры до вступления рыб в эксплуатацию численность поколения изменяется столь значительно, что влияние плодовитости нивелируется действием многих других экологических факторов. В связи с этим в ихтиологии вводится специальное понятие «*пополнение*».

Биологическое понимание пополнения и типы нерестовых популяций.

Понятие пополнения тесно связано с процессом воспроизводства рыб. В репродуктивной структуре популяции выделяют «нерестовый запас», «пополнение» и «остаток».

Нерестовая популяция SSB – это: 1) особи, приходящие на нерестилища для участия в нересте; 2) особи, которые по своему физиологическому состоянию могут участвовать в нересте.

Пополнение R_g – особи, нерестящиеся впервые.

Остаток D – повторно нерестящиеся особи.

Г.Н. Монастырский (1953) по соотношению пополнения и остатка выделил три типа нерестовых популяций.

I. Пополнение намного превышает остаток $R_g \gg D$ – это мелкие короткоцикловые виды рыб или виды, нерестящиеся один раз в жизни (дальневосточные лососи).

II. Пополнение приблизительно равно остатку $R_g \approx D$ – виды со средней продолжительностью жизни (карповые, окуневые).

III. Пополнение много меньше остатка $R_g \ll D$ – виды с длительным жизненным циклом (осетровые, акулообразные).

С точки зрения регулирования рыболовства смысл выделения типов нерестовых популяций сводится к следующим положениям:

По соотношению пополнения и остатка в конкретном году можно сделать прогноз вылова в зависимости от урожайности поколения. Однако это справедливо только для популяций, в которых возраст первой поимки близок к возрасту созревания.

Считалось, что тип нерестовой популяции указывает на способность данной популяции противостоять определенному уровню естественной смертности популяции и, таким образом, указывать на ее реакцию на интенсивный промысел. К сожалению, такой подход является чисто теоретическим. Невозможно свести все многообразие отношений системы «запас-промысел» к трем типам и на основании этого регулировать эксплуатацию.

Понятие пополнения в промысловой ихтиологии.

В промысловой ихтиологии пополнение – это особи, достигшие определенных размеров и возраста, когда они перемещаются в район промысла и могут быть отловлены.

Соотношение между биологическим и промысловым пополнением достаточно сложно. В целом считается, что за пополнение принимают особей, достигших возраста первой поимки t_r . Однако рост особей в популяции неравномерен, поэтому процесс формирования пополнения является растянутым во времени. В любом случае имеется четкая связь численности пополнения с величиной запаса и уловов.

Биологическое пополнение охватывает гораздо больший набор возрастных групп и не имеет непосредственной связи с численностью запаса. Эффективность нереста не может быть основанием для прогнозирования величины уловов, так как темп роста особей в популяции может значительно

колебаться. Могут иметься как тугорослые половозрелые особи, так и быстрорастущие неполовозрелые.

Зависимость популяционной плодовитости от параметров популяции.

Популяционная плодовитость – количество икры, которое может быть отложено популяцией за один нерестовый сезон. Таким образом она зависит от:

1. численности популяции;
2. половой структуры популяции;
3. репродуктивной структуры популяции;
4. индивидуальной плодовитости особей и ее изменения в

зависимости от возраста.

Численность популяции определяется по уравнению Баранова.

Половая структура.

Половая структура популяции отражает соотношение в популяции особей разного пола. Определенный уровень воспроизводства популяции и ее продуктивности по икре поддерживается самками и, соответственно, зависит от их количества.

Промысел, воздействуя на популяцию, изменяет ее структуру как размерно-возрастную, так и половую. Это связано с возможными различиями в темпах роста самцов и самок и селективностью используемых орудий лова.

При этом важным фактором также выступает динамика полового состава популяции в зависимости от возраста. В популяции обычно рождается приблизительно равное количество самцов и самок, но в течение жизни их соотношение не остается постоянным. На него влияет, прежде всего, различие в уровнях естественной смертности самцов и самок.

В общем виде доля самок определяется как

$$S_F = \frac{N_F}{N_M + N_F} \quad (57)$$

При известных коэффициентах естественной смертности самцов и самок их численность выражается также уравнение Баранова. Тогда доля самок в зависимости от возраста может быть рассчитана по формуле:

$$S_F = \frac{1}{1 + e^{(M_F - M_M)t}} \quad (58)$$

Репродуктивная структура.

Репродуктивная структура популяции описывает соотношение групп особей, различающихся по отношению к процессу воспроизводства.

В этом отношении выделяют три стадии онтогенеза:

Пререпродуктивная – неполовозрелые особи (молодь).

Репродуктивная – половозрелые особи активно участвующие в нересте.

Пострепродуктивная – старые особи, которые уже не участвуют в нересте, так как по физиологическим причинам неспособны к размножению.

Каждая стадия определяется определенными временными рамками, то есть соответствует определенному возрасту.

Созревание рыб начинается в возрасте и растягивается на несколько лет. **Возраст полового созревания** – это возраст, при котором 50% особей данного вида становятся половозрелыми.

Возраст полового созревания определяется биологическими особенностями вида, а сам момент полового созревания чаще связан не столько с возрастом, сколько с достижением определенных размеров.

Доля особей, созревших в различном возрасте в зависимости от темпа весового роста определяется по уравнению.

$$S_S = 1 - e^{-bW_{inf}(1 - e^{-K(t-t_0)})^3} \quad (59)$$

Возраст половой старости – возраст, когда особи прекращают участвовать в процессе размножения.

Пострепродуктивная часть популяции имеет большое значение для популяций млекопитающих и птиц. У рыб до возраста, в котором прекращается размножение, доживает очень небольшое количество особей.

Индивидуальная плодовитость.

Темп изменения индивидуальной плодовитости может описываться двумя законами.

В первом случае относительная плодовитость не зависит от массы особи и зависимость абсолютной плодовитости от размеров рыбы имеет линейный вид:

$$Ea = g_0 + g_1 W \quad (60)$$

Во втором случае относительная плодовитость изменяется с ростом рыбы. В этом случае абсолютная плодовитость имеет степенную связь с массой особи

$$Ea = g_0 W^{g_1} \quad (61)$$

Если же учесть зависимость самих размеров от возраста в соответствии с уравнением Бергаланфи, то указанные зависимости примут вид:

$$Ea = g_0 + g_1 W_{inf} (1 - e^{-(t-t_0)})^3 \quad (62)$$

$$Ea = g_0 W_{inf} (1 - e^{-(t-t_0)})^{3g_1} \quad (63)$$

Продуктивность по икре.

Оценив все указанные выше параметры популяции можно оценить ее продуктивность по икре как

$$Ep = \sum_{t=t_{s0}}^{t=t_{\lambda}} N_t S_t S_{s_t} E a_t \quad (64)$$

График данной зависимости показывает, что вклад в популяционную плодовитость младших и старших возрастных групп незначителен, поскольку у первых невелика абсолютная плодовитость, а у вторых – численность.

Поскольку главным фактором, который определяет популяционную плодовитость, является количество участвующих в нересте особей, для простоты оценки можно считать относительную плодовитость особей популяции величиной постоянной и рассчитывать популяционную плодовитость по формуле

$$Ep = Ew \times SSB \quad (65)$$

Проблемы оценки связи «запас-пополнение».

Хотя популяционная плодовитость и может быть оценена сравнительно легко, этих данных недостаточно для того, чтобы верно оценить численность пополнения промыслового запаса. Это происходит потому, что на численность влияют множество биотических и абиотических факторов, сочетание которых и определяет величину пополнения. В связи с этим возникает важный практический вопрос: как оценить связь между величиной пополнения и численностью родительского стада.

В течение истории становления промысловой ихтиологии существовало три подхода к решению данной проблемы.

Интуитивный подход. Исторически первую концепцию связи запас-пополнение сформулировал К.М. Бэр, который предположил существование прямой зависимости между численностью родительского стада и продуцируемым ими пополнением. В связи с выдвинутой концепцией Бэр утверждал, что промысел должен вестись таким образом, чтобы каждая рыба могла хоть раз поучаствовать в нересте. Данная концепция в настоящее время лежит в основе всех существующих правил рыболовства, в которых четко определена промысловая мера для предотвращения поимки неполовозрелых рыб.

Ф.И. Баранов в противоположность концепции К.М. Бэра утверждал, что ввиду чрезвычайно высокой плодовитости рыб начальная численность рыб всегда бывает избыточной и численность пополнения лимитируется не количеством производителей, а условиями обитания молоди. Таким образом, Ф.И. Баранов выдвинул другой подход к регулированию рыболовства, согласно которому промысел может вестись с любой интенсивностью.

Эмпирический подход.

Эмпирический подход основан на том предположении, что связь численности пополнения и численности родительского стада реализуется опосредовано через воздействие множества биотических и абиотических факторов.

Метод множественных регрессий предполагает основан на поиске зависимостей численности пополнения от различных факторов внешней среды, например, средней температуры воды в нерестовый период, концентрации кормовых организмов, общей площади нерестового участка и т.п.

Другой эмпирический подход использует *метод медианы*. Этот метод используется, если по эмпирическим данным невозможно установить закономерности связи запаса и пополнения. В этом случае эмпирические данные наносятся на график, а затем через все поле проводится линия, которая делит весь нанесенный массив данных пополам. Таким образом получается линия, которая условно соответствует среднему многолетнему показателю соотношения величины запаса и численности пополнения.

Модели «запас-пополнение»

Для любой рыбной популяции цикл воспроизводства может быть представлен в виде следующей цепочки: икра – личинки – молодь – пополнение – нерестовый запас – икра и т. д. Наиболее просто предположить, что численность популяции на любой стадии жизненного цикла пропорциональна таковой на предыдущей стадии. Отсюда следует, что результирующее пополнение R пропорционально размеру нерестового запаса S :

$$R = \alpha S \quad (66)$$

Эту связь можно определить как “независимость от плотности”, поскольку отношение R/S не зависит от плотности популяции, показателем которой является размер нерестового запаса S . Показателем популяционной плотности может также служить количество выметанной икры. Параметр α называется продуктивностью или показателем независимости от плотности. Соотношение (3.1) вообще говоря нереалистично, т.к. оно подразумевает безграничное увеличение пополнения как функции нерестового запаса, если плодовитость не зависит от плотности.

Все модели «запас-пополнение», используемые в настоящее время в промысловой ихтиологии основаны на том факте, что естественная смертность молоди состоит из депенсационной и компенсационной смертностей.

Депенсационная смертность не зависит от плотности молоди. Это врожденное свойство, связанное с генетической разнокачественностью молоди.

Компенсационная смертность – это смертность, зависящая от плотности молоди. Она обуславливается такими причинами как нехватка пищи в период перехода личинок на экзогенное питание, хищничество и каннибализм.

1. *Модель Бивертон-Холта.*

Предполагая, что количество выметанной икры пропорционально (коэффициент пропорциональности f соответствует плодовитости) количеству нерестующих особей (нерестовому запасу), Р. Бивертон и С.Холтом (Beverton and Holt, 1957) впервые была получена модель, получившая название кривой запас-пополнение Бивертон-Холта.

$$R = \frac{S}{b+aS} \quad (67)$$

где:

R – величина пополнения.

S – нерестовый запас (SSB).

a – коэффициент, учитывающий депенсационную и компенсационную смертность и возраст пополнения.

b – коэффициент, учитывающий лишь депенсационную смертность.

Кривая модели Бивертон-Холта для зависимости «запас-пополнение» представляет собой восходящую асимптотическую кривую. Таким образом, согласно данной модели после достижения определенной численности родительского стада численность пополнения уже не будет увеличиваться каким-либо заметным образом. Точка перегиба графика перед выходом на плато в настоящее время часто используется как граничный ориентир

промысла, определяя минимальную численность популяции, которую необходимо поддерживать.

2. Модель Рикера

У. Рикер (1944) в своих работах по дальневосточным лососям указал, что у них несколько механизмов плотностной регуляции смертности молоди, среди которых имеется каннибализм.

Зависимость численности пополнения от численности родительского стада У. Рикер описал с помощью уравнения:

$$R = aSe^{-bS} \quad (68)$$

График модели Рикера имеет куполообразную форму, что указывает на факт отрицательного воздействия излишней численности родительского стада на количество пополнения.

3. Модель Шепарда

Модель Шепарда представляет собой гибкую связь «запас-пополнение» за счет введения в модель Бивертон-Холта дополнительного коэффициента:

$$R = \frac{S}{b+aSc} \quad (69)$$

Саморегуляция системы «запас-пополнение»

Величины нерестового запаса и пополнения имеют взаимное влияние друг на друга. Таким образом, саморегуляция системы «запас-пополнение» представляет собой цепочку взаимных воздействий на численность популяции двух параметров. Чрезмерное увеличение одного из них ведет к уменьшению второго, что, в свою очередь снижает значение первого. Такой процесс после значительного количества итераций (повторений) приводит к точке равновесия

Саморегуляция системы «запас-пополнение» также реагирует на внешнее воздействие на один из элементов системы, например, промысловое изъятие.

Методы оценки пополнения.

Для оценки величины пополнения используются следующие методы:

Прямой учет, проходящий в форме ихтиопланктонных съемок, учета покатной молоди, оценок концентрации молоди, например, с помощью лампы.

Биостатистический подход оценивает величину пополнения, как сумму уловов одного поколения. Данная методика, таким образом учитывает лишь пойманных рыб, а часть пополнения, подвергшаяся элиминации по естественным причинам, не учитывается.

Модели «запас-пополнение» строятся при наличии ряда данных по соотношению численности нерестового запаса и продуцируемого им пополнения. Такой подход является лишь уточнением оценки, поскольку первичная оценка проводится с помощью других указанных методов.

Определение граничного ориентира промысла в условиях дефицита информации

Наличие параметров модели «запас-пополнение» обуславливает возможность оценки граничных ориентиров промысла, в частности, расчета некоторой минимальной величины запаса B_{lim} , обеспечивающего достаточную численность пополнения. Любое воздействие промысла, приводящее к изменению запаса в пределах от B_{VIR} (численность девственной популяции) до B_{lim} , не влечет за собой нарушение уровня воспроизводства. Вместе с тем, трудность оценки связи «запас-пополнение» обусловила необходимость поиска граничного ориентира управления косвенным путем без оценки численности родительского стада и пополнения.

С этой целью используются несколько подходов.

За величину граничного ориентира B_{lim} принимается численность нерестового запаса, соответствующая половине нерестового запаса девственной популяции $SSB_{50\%}$. Эти величины рассчитываются с помощью одной из аналитических моделей, которые рассматриваются ниже.

В качестве граничного ориентира принимается минимальное значение нерестового запаса, зарегистрированное для данной популяции в течение всего

периода наблюдения за ней B_{LOSS} (Lowest Observed Spawning Stock). Логика такого подхода заключается в следующем: если в течение исторического периода наблюдалась некоторая минимальная величина запаса, и затем запас восстановился, значит, этого уровня запаса было достаточно для нормального воспроизводства.

Вопросы для самоконтроля.

1. Виды плодовитости.
2. Зависимость индивидуальной плодовитости от размеров и возраста.
3. Биологическая трактовка понятия «пополнение».
4. Типы нерестовых популяций.
5. Промысловая трактовка понятия «пополнения».
6. Половая структура популяции.
7. Репродуктивная структура популяции.
8. Оценка связи «запас-пополнение»: интуитивный подход.
9. Оценка связи «запас-пополнение»: эмпирический подход.
10. Оценка связи «запас-пополнение»: модель Бивертон-Холта.
11. Оценка связи «запас-пополнение»: модель Рикера.
12. Оценка связи «запас-пополнение»: модель Шепарда.
13. Методы оценки численности пополнения.
14. Определение граничных ориентиров промысла (B_{lim} , B_{LOSS}).

Литература [1,3,4]

ТЕМА 6. СМЕРТНОСТЬ РЫБ

Одним из важнейших показателей, характеризующих динамику численности популяции и используемых для целей прогнозирования численности, является показатель смертности.

Смертность – уменьшение численности рыб под воздействием различных причин.

Процесс убыли численности рыб может быть охарактеризован несколькими показателями.

Мгновенный коэффициент смертности Z характеризует скорость уменьшения численности за элементарный промежуток времени. Измеряется в единицах времени⁻¹. На логарифмическом графике динамики численности мгновенный коэффициент смертности численно равен тангенсу угла наклона кривой.

При расчете мгновенного коэффициента смертности для отдельной возрастной группы обычно используется выражение

$$Z = -\ln \frac{N_{t+1}}{N_t} \quad (70)$$

Действительный коэффициент смертности φ_Z показывает вероятность гибели рыб в течение определенного промежутка времени и численно равен доле или проценту рыб, погибших за определенный период по отношению к начальной численности.

$$\varphi_Z = 1 - \frac{N_{t+1}}{N_t} \quad (71)$$

Коэффициент выживания S – величина, дополняющая действительный коэффициент смертности до единицы. Она показывает, какая часть рыб остается в популяции к определенному моменту времени.

$$S = 1 - \varphi_Z = \frac{N_{t+1}}{N_t} \quad (72)$$

Связь между показателями смертности.

Анализ динамики численности популяции по теоретической модели на основе уравнения Баранова показывает, что:

1. Несмотря на то, что скорость мгновенный коэффициент смертности остаётся постоянным, количество погибших рыб постепенно уменьшается.

2. Суммарная гибель не достигает 100%. В естественных условиях процент убыли будет стремиться к 100%, но никогда его не достигнет.

Математическая связь между показателями смертности заключается в выражениях:

$$\varphi_Z = 1 - e^{-Z} \quad (73)$$

$$S = 1 - \varphi_Z = e^{-Z} \quad (74)$$

Виды смертности

Уменьшение численности популяции рыб может происходить как от естественных причин (хищники, болезни, старость), так и по причине их изъятия из среды (вылова) человеком. В связи с этим выделяют естественную смертность M (mortality) и промысловую смертность F (fishery). Сумма естественной и промысловой смертности составляет общую смертность Z .

Соответственно каждый вид смертности характеризуется своими коэффициентами.

Естественная смертность

К естественной смертности относят убыль численности от всех причин кроме промысла.

- Неблагоприятные абиотические факторы.
- Хищничество.
- Болезни.
- Старость.
- Неучтенные факторы (браконьерство).

Механизм воздействия указанных факторов может быть как прямым, так и косвенным.

Интенсивность действия всех причин, обуславливающих естественную смертность, так или иначе связаны с возрастом рыбы. В промысловой ихтиологии важным является исследование связи возраста и уровня естественной смертности.

Теоретически возможны четыре варианта кривых смертности.

А. Естественная смертность не зависит от возраста.

При условии постоянства коэффициента мгновенной естественной смертности динамика численности будет описываться классическим уравнением Баранова для численности при $Z=M$.

В. Естественная смертность уменьшается с возрастом.

В случае, если естественная смертность уменьшается с ростом рыбы, например, при повышении сопротивляемости организма факторам среды, коэффициент мгновенной смертности может изменяться по линейной зависимости:

$$M = m_0 - m_1 t \quad (75)$$

При данном типе зависимости естественной смертности от времени уравнение Баранова для численности в логарифмическом виде будет выглядеть как:

$$\ln N = \ln N_0 - m_0 t + \frac{1}{2} m_1 t^2 \quad (76)$$

Графиком данного уравнения будет являться вогнутая нисходящая парабола

С. Естественная смертность увеличивается с возрастом.

В случае, если естественная смертность увеличивается с ростом рыбы, например, при старении организма, коэффициент мгновенной смертности может изменяться по линейной зависимости:

$$M = m_0 + m_1 t \quad (77)$$

Соответственно логарифмированное уравнение Баранова в этом случае будет иметь вид:

$$\ln N = \ln N_0 - m_0 t - \frac{1}{2} m_1 t^2 \quad (78)$$

Нисходящая парабола в этом случае будет выпуклой.

Д. Естественная смертность имеет сложную зависимость от возраста.

В большинстве случаев в природе наблюдается сложная зависимость показателей смертности от возраста. У большинства видов имеется определенный возраст t_m , до достижения которого естественная смертность уменьшается, а после – постепенно увеличивается.

Таким образом, в зависимости от возраста рыбы и его соотношения с возрастом минимальной естественной смертности t_m численность рыб может быть описана одним из двух представленных выше уравнений, а график кривой выживания будет иметь точку перегиба в точке, соответствующей возрасту t_m .

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что, если имеются данные по выживанию отдельных поколений, анализируя их графически можно с достаточной долей вероятности сказать, какой тип зависимости естественной смертности от возраста имеет та или иная популяция.

Аналогично с влиянием возраста на показатель естественной смертности можно предположить и влияние избыточной численности как фактора повышающего внутривидовую конкуренцию. В настоящее время влияние численности на уровень естественной смертности достоверно не оценено. Тем не менее вопрос является весьма важным с позиций возможности управления.

Промысловая смертность.

Промысловая смертность – процесс уменьшения численности популяции под воздействием промысла.

Данный параметр может быть охарактеризован несколькими показателями.

Мгновенный коэффициент промысловой смертности F .

Действительный коэффициент промысловой смертности φ_F – отношение количества выловленных особей (численности рыб в улове) к общей численности особей популяции. Знание данного показателя позволяет в первом приближении оценить состояние запаса.

$$\varphi_F = \frac{Y_N}{N_0} \quad (79)$$

$$N_0 = \frac{Y_N}{\varphi_F} \quad (80)$$

Интенсивность промысла I – отношение обловленной за определенный период площади или объема воды к площади или объему всего водоема. Также может быть выражена через количество промысловых усилий, приходящееся на единицу площади водоема.

Элементарная интенсивность лова f – произведение геометрической интенсивности промысла на показатель уловистости.

$$f = qf_g \quad (81)$$

Интенсивность вылова (коэффициент эксплуатации) u – степень использования запаса промыслом.

$$u = 1 - e^{-f} \quad (82)$$

Свойства аддитивности и мультипликативности коэффициентов смертности

Связь действительных коэффициентов смертности с ее мгновенными коэффициентами при совместном действии обоих видов смертности выражается формулами:

$$\varphi_M = \frac{M}{F+M} (1 - e^{-(F+M)}) \quad (83)$$

$$\varphi_F = \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)}) \quad (84)$$

Действительный коэффициент общей смертности в этом случае равен^

$$\varphi_Z = \varphi_M + \varphi_F = 1 - e^{-(F+M)} \quad (85)$$

Методы оценки смертности.

В общем случае для оценки уровня смертности необходимы данные по численности всей популяции или отдельных ее возрастных групп в начале и конце периода. При этом можно использовать различные индексы численности (например, показатели уловов) или использовать отдельные биологические параметры, зависящие от уровня смертности.

Оценка общей смертности по возрастной структуре стабильной популяции.

Метод Бивертон-Холта 1 – по среднему возрасту рыб в улове. Данный метод основан на анализе правой части кривой улова и включает также оценку возраста первой поимки рыбы t_c .

$$Z = \frac{1}{T_Y - t_c} \quad (86)$$

Метод пригоден только для оценки численности стабильной популяции. Кривая уловов должна быть получена из отцеживающих орудий лова, чтобы правая часть соответствовала кривой населения.

Метод Бивертон-Холта 2 – по средней длине рыб в улове. Для расчетов по данному методу используются параметры уравнения Бергаланфи, а также рассчитанная длина первой поимки рыбы.

$$Z = \frac{K(L_\infty - L_Y)}{L_Y - L_c} \quad (87)$$

Метод Гейнке – по возрастной структуре популяции.

$$\varphi_Z = 1 - \frac{\sum_{t_{min}+1}^{t_{max}} N_t}{\sum_{t_{min}}^{t_{max}-1} N_t} \quad (88)$$

$$Z = -\ln(1 - \varphi_Z) \quad (89)$$

Вместо абсолютных показателей можно использовать относительные (процент, доли).

Метод аппроксимации кривой населения или уловов. Для этого проводится анализ правой части кривой населения или уловов и для нее методом наименьших квадратов подбирается подходящая регрессия.

Данный метод позволяет сгладить случайные колебания численности. Кроме того, с помощью данного метода можно оценить не только уровень общей смертности, но и характер ее зависимости от возраста.

Эмпирические методы оценки смертности.

Эмпирические методы основаны на оценке связи уровней смертности рыб с какими-либо их биологическими параметрами.

Например, Паули (1980) на основании изучения 175 популяций рыб разработал уравнение, которое связало коэффициент естественной смертности с параметрами уравнения Берталанфи L_{∞} , K и среднегодовой температурой воды в месте обитания популяции T .

$$\log M = -0,0066 - 0,279 \log L_{\infty} + 0,6543 \log K + 0,4634 \log T \quad (90)$$

$$\log M = -0,0066 - 0,279 \log W_{\infty} + 0,6543 \log K + 0,4634 \log T \quad (91)$$

Другие исследователи в своих работах рассматривали влияние на уровень смертности таких показателей как максимальная продолжительность жизни рыб, возраст наступления половой зрелости и даже показателя гонадосоматического индекса.

Эмпирические методы не являются надежными, поскольку используемые ими показатели подвержены довольно значительным колебаниям внутри каждой популяции. Однако же некоторые из них, например, метод Паули, могут быть использованы в качестве экспресс-методов для начальной оценки показателей смертности

Вопросы для самоконтроля.

1. Смертность, ее виды.
2. Естественная смертность, мгновенный и действительный коэффициенты.
3. Зависимость естественной смертности от возраста.
4. Промысловая смертность, мгновенный и действительный коэффициенты.
5. Методы оценки общей смертности.

Литература [1,3,4].

ТЕМА 7. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РЫБ

Разработка принципов рационального использования популяций рыб основывается на изучении влияния промысла на динамику численности промыслового стада.

В эксплуатируемой популяции оценивают:

- Величину годового улова в поштучном выражении и в весовом выражении.

- Величину уловов на усилие

- Среднюю длину, вес и возраст рыб в улове.

- Среднюю длину, вес и возраст рыб в популяции.

- Среднегодовую численность популяции

- Среднегодовую массу популяции

- Численность нерестового запаса

- Биомасса нерестового запаса, г/R

- Популяционную плодовитость, тыс. икринок/R

Для анализа динамики популяции в ходе стандартных ихтиологических исследований определяют возраст пополнения, возраст первой поимки, возраст полового созревания, максимальный возраст, коэффициент естественной смертности, темп роста (параметры уравнения Берталанфи), абсолютную индивидуальную плодовитость, половую структуру популяции.

Промысел обычно характеризуется двумя параметрами.

Промысловая смертность определяется интенсивностью лова и зависит от количества и мощности используемых орудий лова.

Возраст начала эксплуатации (возраст первой поимки) определяется размером ячеи орудий лова и характеризует селективность промысла.

Все существующие методы регулирования промысла обычно сводятся к регулированию (ограничению) одного из или обоих этих параметров.

Вместе с тем следует помнить, что динамика популяции определяется не только собственными параметрами и промыслом, но и воздействием сложного комплекса внешних факторов абиотического и биотического характера, большинство из которых не поддается контролю. Таким образом, будут рассмотрены только те факторы, которые могут быть регулируемы.

Для оценки динамики популяционных параметров в зависимости от различных факторов, связанных с промыслом, рассмотрим идеальную популяцию со следующими начальными допущениями.

Численность пополнения не зависит от численности родительского стада. Промысел ограничен уровнем минимально допустимой численности запаса. Пока не превышен этот уровень, никакие изменения численности не «подорвут» запас.

Промысел ведется отцеживающими орудиями лова, улавливающими всех рыб начиная с длины L_c , которая определяется только шагом ячеи орудия и не связана с длиной полового созревания L_s .

Общая форма кривой населения эксплуатируемой популяции имеет следующие особенности.

1. В интервале возраста от t_0 до t_c численность популяции изменяется по сложной закономерности, которая неизвестна и не учитывается промысловых моделях.

2. При возрасте t_r популяция имеет численность R . До наступления возраста t_c на динамику численности пополнения влияет только уровень естественной смертности M .

3. Достигнув возраста t_c численность популяции равняется R_{tc} , а скорость уменьшения численности будет равна $M+F$, поскольку к естественной смертности добавляется еще и воздействие промысла.

Изменение режима рыболовства в данном случае будет проявляться либо в изменении положения точки R_{tc} , либо в изменении угла наклона кривой населения после этой точки.

Для большей наглядности рассмотрим влияние на показатели популяции и улова каждого из параметров промысла отдельно и при совместном воздействии.

Влияние интенсивности промысла на популяционные характеристики.

Поскольку между интенсивностью промысла и промысловой смертностью существует прямая связь, будем рассматривать эти понятия как синонимы.

Улов в поштучном выражении.

Рассматривая улов как площадь трапеции $R_{tc}-F-t-t_\lambda$, видим что при увеличении интенсивности промысла возрастание уловов в поштучном выражении идет с замедлением, т. е. прирост площади трапеции постоянно уменьшается. Следовательно, график зависимости $Y_M(F)$ представляет собой выпуклую ветку параболы.

Улов в весовом выражении.

Зависимости улова в весовом выражении от интенсивности промысла имеет более сложную форму, поскольку здесь имеет влияние еще и темп весового роста.

Возможны два варианта графика $Y_W(F)$.

Для рыб с низкой естественной смертностью кривая имеет куполообразную форму с максимумом, соответствующим показателю максимального устойчивого улова MSY при соответствующем уровне промысловой смертности F_{MSY} .

В рассматриваемом варианте ограничителем величины улова после превышения уровня максимального уравновешенного улова будет величина $R_{tc} W_{tc}$, то есть масса особей в возрасте первой поимки.

В популяциях с высокой естественной смертностью и невысоким темпом роста кривая зависимости $Y_W(F)$ будет стремиться к некоторой асимптоте в точке, также соответствующей $R_{tc}W_{tc}$.

На наличие точки MSY кроме уровня естественной смертности популяции влияют и параметры темпа весового роста особей той популяции, и только их совместное воздействие обуславливает тот или иной тип кривой $Y_W(F)$ для каждой отдельной популяции.

Улов на усилие.

Величина улова на усилие при постоянной численности популяции обратно пропорциональна затрачиваемым усилиям, т.е. интенсивности промысла.

Анализ зависимости $CPUE-F$ позволяет выявить ситуацию, когда стоимость улова на усилие будет меньше затрат на это усилие. Таким образом, кроме биологического ограничения промысла существует еще и экономический механизм регулирования.

Численность и биомасса популяции.

Увеличение промысловой смертности влечет за собой увеличения показателей общей смертности и угла наклона кривой населения, что ведет к уменьшению численности и биомассы популяции, характеризуемых площадью треугольника $R_{tc}-t_c-t_\lambda$. При возрастании интенсивности вылова величина популяции будет стремиться к величине неэксплуатируемой части запаса (NFS , t_r-t_c).

Совместный анализ кривых уловов и численности популяции показывает, что имеется точка, после которой величина уловов начинает превышать величину численности популяции. Возможность такого превышения объясняется поступлением в эксплуатируемую часть популяции особей пополнения.

В отличие от принятых нами допущений в природных популяциях рост вылова может вестись только до момента, пока сохраняется некоторая

минимальная численность и биомасса популяции B_{lim} , обеспечивающая популяцию необходимым количеством пополнения.

Средняя длина, масса и возраст особей в популяции.

При увеличении интенсивности промысла средние показатели особей в популяции снижаются. При бесконечно большой интенсивности промысла максимальные показатели популяции будут соответствовать размерам и возрасту первой поимки.

Среднегодовая численность и биомасса нерестового стада.

Среднегодовые численность и биомасса нерестового стада снижаются по мере увеличения интенсификации промысла по той же зависимости, что и численность, и биомасса популяции в целом.

Нужно отметить, что численность или биомасса нерестового запаса чаще всего является граничным ориентиром промысла, который может быть определен как $SSB_{50\%}$, тогда максимальная интенсивность промысла можно определить F_{lim} по графику зависимости $SSB-F$.

Второй вариант определения минимальной величины нерестового запаса – B_{LOSS} , минимальная наблюдаемая величина биомассы запаса.

Популяционная плодовитость.

Для целей оценки влияния промысла на показатель популяционной плодовитости используем формулу.

$$E_p = E_w \times SSB \quad (92)$$

Таким образом, видим, что динамика показателей популяционной плодовитости тесно связана с динамикой величины нерестового запаса, а кривые их динамики параллельны.

Влияние селективности промысла на популяционные характеристики.

Показателем селективности промысла служит величина возраста t_c или длины L_c первой поимки, которая может изменяться в зависимости от размера

шага ячеи a . Таким образом под изменением селективности промысла мы будем понимать изменение возраста или длины первой поимки t_c .

Улов в поштучном выражении.

В поштучном выражении улов обратно пропорционален величине селективности, поскольку, чем выше селективность, тем большая часть популяции остается незатронутой промыслом.

Улов в весовом выражении.

Зависимости улова в весовом выражении от селективности промысла имеет более сложную форму, поскольку здесь имеет влияние еще и темп весового роста. Сначала наблюдается рост показателей улова в результате сосредоточения усилий на более крупных особях.

У популяций с низкой естественной смертностью кривая зависимости уловов от возраста первой поимки будет иметь куполообразную форму с максимумом в точке, соответствующей t_{MSY} . Положение данной точки зависит от особенностей темпа весового роста особей в популяции и обычно соответствует возрасту, в котором коэффициент общей смертности Z равен коэффициенту весового роста G .

Следует отметить, что использование в качестве ориентира возраста полового созревания t_s часто не соответствует наибольшему экономическому эффекту и возраст первой поимки t_c в большинстве случаев должен определяться именно по коэффициентам роста и смертности.

Для видов с высокой естественной смертностью увеличение селективности промысла всегда ведет к уменьшению показателей уловов в весовом выражении.

Улов на усилие.

Кривая зависимость величина уловов на усилие от показателей селективности промысла может иметь две формы в зависимости от уровня естественной смертности.

Для популяций с высокой естественной смертностью кривая имеет нисходящую вогнутую форму. При уровне естественной смертности $M < 0,1$ кривая зависимости $CPUE-t_c$ также будет нисходящей, но может иметь выпуклую форму.

Численность и биомасса популяции.

Увеличение возраста начала эксплуатации популяции означает уменьшение эксплуатируемой части запаса, что в свою очередь ведет к увеличению остальной части запаса (NFS, t_r-t_c). Кривая зависимости имеет вид восходящей выпуклой кривой.

Средняя длина, масса и возраст особей в популяции и в улове.

Увеличение возраста первой поимки ведет к тому, что улов будет состоять из рыб более старших возрастных групп. Средние показатели особей в улове и популяции также будут повышаться.

Среднегодовая численность и биомасса нерестового стада.

Среднегодовая численность и биомасса нерестового стада при увеличении возраста первой поимки увеличиваются по зависимости, характерной для изменения общей биомассы и численности популяции.

Популяционная плодовитость.

Поскольку динамика показателей популяционной плодовитости тесно связана с динамикой величины нерестового запаса, а кривые их динамики параллельны.

Совместное влияние интенсивности и селективности промысла.

Рассмотренные выше зависимости популяционных характеристик от отдельных параметров промысла показали, что влияние интенсивности и селективности промысла имеют противоположную направленность. Поскольку уловы графически представляются нами как площадь трапеции, в которой селективность лова определяет основание, а интенсивность промысла – высоту, мы можем получать одни и те же показатели уловов совместно изменяя пары значений параметров промысла.

С целью анализа совместного влияния интенсивности и селективности промысла на динамику показателей эксплуатируемых популяций рыб применяется специальный подход, который заключается в построении изоплетных диаграмм.

Изоплетные диаграммы представляют собой графическую интерпретацию таблиц величин уловов, которые помещены в координатную сетку, где на оси X откладывают значение промысловой смертности, а на оси Y – возраст первой поимки (начала эксплуатации).

Для построения изоплетных диаграмм вначале строят соответствующую ей таблицу, через одинаковые значения в которой затем проводят соединяющие линии – изоплеты.

Анализ изоплетных диаграмм показывает, что одна и та же величина уловов может быть получена при бесконечном значении пар F и t_c .

Способы использования изоплетных диаграмм.

Анализ изоплетных диаграмм позволяет при заданном уровне уловов определить наиболее оптимальные параметры промысла. Также имеется возможность, ориентируясь на один из параметров промысла (например, селективность имеющихся орудий) подобрать другой параметр (интенсивность промысла) таким образом, чтобы получить максимально возможную величину улова.

Эвметрический улов

Эвметрический улов Y_{WE} – это максимальная величина улова, которая может быть получена при заданном значении F путем подбора оптимального значения t_c .

На изоплетной диаграмме точка эвметрического улова соответствует точке перегиба кривой улова.

Кривая эвметрического улова – это геометрическое место точек на изоплетной диаграмме, соответствующих максимальной величине уловов при каждом заданном значении промысловой смертности.

Зависимость формы изоплетной диаграммы и формы эвметрической кривой от популяционных параметров.

Эвметрический улов и его кривая существуют только для тех популяций, у которых на кривых зависимости Y_W-F или Y_W-t_c существуют точки максимума. Наличие точек максимума и их положение определяется собственными параметрами популяции, основными из которых являются скорости весового роста G , уровень естественной смертности M , а также связанные с ними параметры уравнения Бергаланфи L_∞, k, t_0 .

В общем возможно 3 варианта размещения эвметрической кривой на изоплетной диаграмме.

1. При низких значениях скорости роста и высокой естественной смертности кривая будет прижиматься к нижнему краю диаграммы.
2. При средних значениях темпа роста и естественной смертности кривая эвметрического улова будет проходить посередине.
3. При высоком темпе роста и низкой естественной смертности эвметрическая кривая будет смещена к верхней границе диаграммы, показывая ориентиры для определения возраста начала эксплуатации популяций рыб такого типа.

Специфика селективного промысла (промысла сетями).

При селективном промысле все усилие сосредоточено только на той части популяции, которая максимально соответствует параметрам используемых орудий. Сети с определенным шагом ячеи облавливают лишь одну или несколько близких по размерам и возрасту групп. Этот факт обуславливает следующие особенности промысла высокоселективными орудиями:

4. При одинаковой величине промыслового усилия уловы в сетях будут всегда меньше, чем при промысле тралами или неводами.
5. Селективный промысел нарушает естественную возрастную структуру популяции.

6. В следствие неравномерной промысловой нагрузки ресурсы популяции эксплуатируются неравномерно: не облавливаются младшие и старшие возрастные группы.

В силу своей специфики и для более полного использования ресурсов промысловой популяции при промысле сетями необходимо использовать набор орудий лова с различным шагом ячеи.

Вопросы для самоконтроля

1. Основные характеристики эксплуатируемой популяции рыб.
2. Влияние интенсивности промысла на основные характеристики эксплуатируемой популяции рыб.
3. Влияние возраста первой поимки на основные характеристики эксплуатируемой популяции рыб.
4. Влияние высокоселективного промысла на структуру популяции.
5. Изоплетные диаграммы и эвметрический улов.

Литература [3].

ТЕМА 8. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОМЫСЛОВОЙ ИХТИОЛОГИИ: АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

Одной из особенностей популяций гидробионтов является то, что часто невозможно оценить их полностью прямым учетом. Для оценки параметров популяции специалисты вынуждены использовать данные выборок. В связи с этим возникает вопрос о достоверности этих выборок. Здесь основным инструментом является математическая статистика.

Вторым важным вопросом является расчет того количество запаса, которое может быть изъято без причинения вреда текущему состоянию популяции.

Натурные эксперименты в этом направлении проводить не представляется возможным, поэтому здесь на первое место выходит математический аппарат, который через модели описывает поведение системы.

Модель – упрощенный образ, отображающий только наиболее существенные свойства оригинала. При этом важно, чтобы модель достоверно отображала эти существенные свойства.

В моделях, используемых в промышленной ихтиологии, обычно отражается небольшое число параметров, характеризующих эксплуатируемую популяцию и промысел.

В зависимости от целей и назначения различают следующие виды моделей.

Реальные (натуральные) – уменьшенный образ объекта исследования, например, аквариум. Недостаток: не все действия можно провести в уменьшенном масштабе;

Знаковые модели описывают объект с помощью специальных символов с указанием связей между их отдельными элементами.

Концептуальные модели – это всевозможные блок-схемы, графики зависимостей, таблицы. Просты в понимании и интерпретации, но статичны и не могут использоваться для моделирования динамических процессов

Математические модели используют для описания объектов математический аппарат. Математические модели делят на аналитические и имитационные.

Аналитические модели описывают систему через уравнение с ограниченным набором параметров, которое позволяет получить однозначную оценку изучаемого параметра.

Имитационные модели описывают систему через систему дифференциальных уравнений со связанными параметрами.

Распределение рекомендуемых моделей и методов по уровням доступного информационного обеспечения расчетов обусловлено соответствующими положениями приказа Росрыболовства от 6 февраля 2015 г. № 104 (Приложение

1 «Требования к процедуре расчета запаса и определения общего допустимого улова ...» к Приложению к приказу): «Исходя из структуры и качества доступной информации, выделяются 3 уровня информационного обеспечения прогноза ОДУ:

I уровень. Доступная информация обеспечивает проведение всестороннего аналитического оценивания состояния запаса и ОДУ с использованием структурированных моделей эксплуатируемого запаса. Минимальные требования к составу информации на данном уровне: исторические ряды возрастного состава, уловов, уловов на единицу промыслового усилия, темпа весового роста, темпа полового созревания, а также среднее по годам и возрастным группам значение коэффициента естественной смертности.

II уровень. Доступная информация обеспечивает проведение ограниченного аналитического оценивания состояния запаса и ОДУ с использованием продукционных моделей эксплуатируемого запаса. Минимальные требования к составу информации на данном уровне: исторические ряды уловов и уловов на единицу промыслового усилия (или промысловых усилий).

III уровень. Недостаточная полнота и/или качество доступной информации исключают использование моделей эксплуатируемого запаса. Обоснование ОДУ строится на эмпирических, трендовых, индикаторных и других приближенных методах, применяемых в случае дефицита информации».

Аналитические промысловые модели.

Аналитические промысловые модели описывают состояние популяции в виде простых уравнений, в которых основными переменными являются скорость весового роста G и величина общей смертности $Z=M + F$. Например, величина годового улова в таких моделях считается пропорциональной биомассе популяции:

$$Y_w = F\bar{B}_w \quad (93)$$

Коэффициентом пропорциональности в данном случае выступает мгновенная промысловая смертность F .

Таким образом, основная цель использования аналитических моделей – это оценка воздействия скорости роста и величины смертности на характеристики эксплуатируемых популяций и подбор оптимальных параметров промысла.

Рассмотрим основные аналитические промысловые модели, применяемые в промысловой ихтиологии.

Модель И.Ф. Баранова.

Это первая математическая модель для описания динамики численности и биомассы популяции, которая была разработана И.Ф. Барановым в 1918 г. на основании данных по возрастному составу североморской камбалы. Она основана на следующих исходных предположениях.

1. Уровень естественной смертности не изменяется в зависимости от возраста рыб. $M = const$.
2. Промысел равномерно использует все возрастные группы популяции. $F_t = const$.
3. Рост рыб происходит по линейному закону

$$L_t = at \quad (94)$$

При этом $a = const$, то есть скорость роста рыб является величиной постоянной

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

$$W = w_0 L^3 \quad (95)$$

Данные допущения позволили привязать численность и биомассу популяции не к возрасту, а к линейному росту и основные уравнения Баранова для численности и биомассы будут иметь вид:

$$N_L = N_0 e^{-ZL} \quad (96)$$

$$B_L = N_0 e^{-ZL} w_0 L^3 \quad (97)$$

Для определения величины возможного улова в зависимости от длины необходимо учитывать, что эксплуатация популяции начинается при достижении рыбами длины первой поимки L_c . Учитывая данный параметр уравнение улова Баранова имеет следующий вид:

$$Y_W = \frac{FN_0 e^{-ZL} w_0 L^3}{z} \left[1 + \frac{3}{zL_c} + \frac{6}{(zL_c)^2} + \frac{6}{(zL_c)^3} \right] \quad (98)$$

Недостатки модели Баранова.

1. Слишком упрощенное представление темпа роста рыбы как линейной зависимости.
2. Учет влияние на популяцию только интенсивности промысла, в то время как влияние селективности промысла не анализировалось.

Модель Бивертон-Холта.

В 1957 г. Р. Бивертон и С. Холт разработали и представили свою аналитическую модель динамики эксплуатируемой популяции. При ее разработке за основу были приняты следующие положения.

1. Промысловая часть популяции ограничена возрастом пополнения t_r и предельным возрастом жизни рыбы t_l .
2. Уровень естественной смертности не зависит от возраста.
3. Темп линейного роста описывается уравнением Бергаланфи

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (99)$$

4. Связь массы и длины имеет кубическую зависимость

$$W = w_0 L^3 \quad (100)$$

5. Темп весового роста рыбы описывается уравнением Бергаланфи

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \quad (101)$$

6. Для удобства дальнейшего использования уравнение Бергаланфи для весового роста преобразовано в вид

$$W = W_\infty \sum_{n=0}^{n=3} \Omega_n e^{-nK(t-t_0)} \quad (102)$$

где: $n = 0, 1, 2, 3$;

$\Omega_n = 1, -3, 3, -1$.

7. Численность пополнения в возрасте t_r равняется R .
8. Эксплуатация поколения начинается в возрасте первой поимки t_c при численности R_{tc} .
9. Динамика численности младших возрастных групп не учитывается.

Указанные первоначальные положения обуславливают необходимость выражения всех рассчитываемых величин в некоторых условных единицах, отнесенных к единице пополнения.

В таблице приведен пример пересчета параметров популяции в расчете на 1 экз. пополнения, то есть параметры, которые имела бы популяция, если бы ежегодное пополнение ее состояло из одной особи.

Таблица 2. Схема оценки значений параметров популяции в расчете на 1 экз. попления в возрасте t_r .

t	$\varphi_Z, \%$	$N, \text{экз.}$	$W, \text{г}$	$B_W, \text{г}$	$\varphi_F, \%$	$Y_W, \text{г}$
$t_r=1$	30	1	5	5	10	0,5
2	30	0,7	10	7	10	0,7
3	30	0,49	15	7,35	10	0,74
4	30	0,34	20	6,86	10	0,69
5	30	0,24	25	6	10	0,6
Сумма на 1 экз.		2,77		32,21		3,23

Данная схема расчетов позволяет определять базовые параметры популяций исходя из определенной в ходе исследований величины пополнения.

Математические выражения основных параметров популяции.

1. Численность возрастной группы

$$N_t = N_0 e^{-Zt} \quad (103)$$

2. Численность пополнения

$$R = N_0 e^{-Mtr} \quad (104)$$

3. Численность рыб, вступающих в эксплуатацию

$$R_{tc} = R e^{-M(tc-tr)} \quad (105)$$

4. Численность возрастной группы после вступления поколения в эксплуатацию.

$$N_t = R_{tc} e^{-(F+M)(t-tc)} \quad (106)$$

5. Улов в поштучном выражении Y_N

$$Y_N = F R_{tc} \frac{1}{F+M} [1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)}] \quad (107)$$

6. Улов в весовом выражении Y_W

$$Y_W = F R_{tc} W_{\infty} (1 * [1 - e^{-(F+M+0K)(t\lambda-tc)}] - \frac{3e^{-K(tc-t_0)}}{F+M+K} [1 - e^{-(F+M+K)(t\lambda-tc)}] + \frac{3e^{-K(tc-t_0)}}{F+M+2K} [1 - e^{-(F+M+2K)(t\lambda-tc)}] + \frac{3e^{-K(tc-t_0)}}{F+M+3K} [1 - e^{-(F+M+3K)(t\lambda-tc)}]) \quad (108)$$

7. Средняя навеска рыб в улове W_Y

$$W_Y = \frac{Y_W}{Y_N} \quad (109)$$

8. Среднегодовая численность популяции

$$B_N = R \frac{1}{M} [1 - e^{-(M(tc-tr))}] + R_{tc} \frac{1}{F+M} [1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)}] \quad (110)$$

9. Среднегодовая биомасса популяции

$$B_W = R W_{\infty} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(tr-t_0)}}{F+M+nK} [1 - e^{-(M+nK)(tc-tr)}] + R_{tc} W_{\infty} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(tc-t_0)}}{F+M+nK} [1 - e^{-(M+nK)(t\lambda-tc)}] \quad (111)$$

10. Средняя навеска особи в популяции

$$W_B = \frac{B_W}{B_N} \quad (112)$$

11. Средний возраст особи в популяции

$$T_B = \frac{\frac{1}{M} [t_r - t_c e^{-M(tc-tr)} + \frac{1}{M} (1 - e^{-M(tc-tr)})]}{\frac{1}{M} (1 - e^{-M(tc-tr)}) + \frac{e^{-M(tc-tr)}}{(F+M)} (1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)})} + \frac{\frac{e^{-M(tc-tr)}}{(F+M)} [t_r - t_{\lambda} e^{-(F+M)(t\lambda-tc)} + \frac{1}{M} (1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)})]}{\frac{1}{M} (1 - e^{-M(tc-tr)}) + \frac{e^{-M(tc-tr)}}{(F+M)} (1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)})} \quad (113)$$

12. Средний возраст особи в улове

$$T_Y = \frac{1}{F+M} + \frac{t_c + t_{\lambda} e^{-(F+M)(t\lambda-tc)}}{1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)}} \quad (114)$$

13. Численность и биомасса нерестового стада

А). $t_c \geq t_s$

$$R_{ts} = R e^{-M(ts-tr)} \quad (115)$$

$$R_{tc} = R e^{-M(tc-tr)} \quad (116)$$

$$SSN = R_{ts} \frac{1 - e^{-M(tc-ts)}}{M} + R_{tc} \frac{1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)}}{F+M} \quad (117)$$

$$SSB = R_{ts} W_{\infty} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(ts-t_0)}}{M+nK} [1 - e^{-(M+nK)(tc-ts)}] +$$

$$R_{tc} W_{\infty} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(tc-t_0)}}{F+M+nK} [1 - e^{-(M+nK)(t\lambda-tc)}] \quad (118)$$

Б). $t_s < t_c$

$$R_{ts} = R e^{-(F+M)(ts-tc)} \quad (119)$$

$$R_{tc} = R e^{-M(tc-tr)} \quad (120)$$

$$SSN = R_{ts} \frac{1 - e^{-(F+M)(t\lambda-tc)}}{F+M} \quad (121)$$

$$SSB = R_{ts} W_{\infty} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nK(ts-t_0)}}{F+M+nK} [1 - e^{-(F+M+nK)(t\lambda-ts)}] \quad (122)$$

14. Популяционная плодовитость.

$$Ep = Ew \times SSB \quad (123)$$

Преимущества модели Бивертон-Холта:

- Применено более гибкое уравнение роста Бергаланфи.
- Все параметры выражены в виде одного уравнения.
- В модели обозначены различия между возрастом пополнения t_r и возрастом первой поимки t_c .
- Модель позволяет рассчитать биологически возможную величину улова (ОДУ).

Недостатки модели:

- Использование кубической зависимости «длина-масса».
- Коэффициент естественной смертности не зависит от возраста.
- Модель пригодна только для неселективного промысла.

- d. Модель дает представления о некотором идеальном состоянии эксплуатируемой популяции в стабильных условиях.

Модель Рикера.

Модель Рикера основывается на дискретном подходе к анализу динамики эксплуатируемой популяции. Вся популяция разбивается на отдельные возрастные группы, для которых коэффициенты смертности M_t и F_t и роста G_t принимаются за постоянные величины. У разных возрастных групп эти коэффициенты могут отличаться. Такой подход позволяет использовать для описания динамики популяционных параметров простые уравнения.

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z_t} \quad (124)$$

$$W_{t+1} = W_0 e^{G_t} \quad (125)$$

$$B_{t+1} = B_t e^{(G_t - Z_t)} \quad (126)$$

Математические выражения основных параметров популяции.

1. Улов в поштучном выражении Y_N

$$Y_{N_t} = N_t \frac{F_t}{F_t + M_t} [1 - e^{-(F_t + M_t)}] \quad (127)$$

2. Улов в весовом выражении Y_W

$$Y_{W_t} = N_t W_t \frac{F_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t - Z_t)} - 1) \quad (128)$$

3. Средняя навеска рыб в улове W_Y

$$W_Y = \frac{Y_W}{Y_N} \quad (129)$$

4. Среднегодовая численность популяции

Для возрастных групп от t_r до t_c

$$B_{N_t} = N_t \frac{1 - e^{-M_t}}{M_t} \quad (130)$$

Для эксплуатируемой части популяции в возрасте от t_c до t_λ

$$B_{N_t} = N_t \frac{1 - e^{-(F_t + M_t)}}{F_t + M_t} \quad (131)$$

5. Среднегодовая биомасса популяции

Для возрастных групп от t_r до t_c

$$B_{W_t} = N_t W_t \frac{e^{(G_t - M_t)} - 1}{G_t - M_t} \quad (132)$$

Для эксплуатируемой части популяции в возрасте от t_c до t_λ

$$B_{W_t} = B_{N_t} = N_t W_t \frac{e^{(G_t - Z_t)} - 1}{G_t - Z_t} \quad (133)$$

6. Средняя навеска особи в популяции

$$W_B = \frac{B_W}{B_N} \quad (134)$$

7. Численность и биомасса нерестового стада

$$SSN = \sum_{t=t_S}^{t=t_\lambda} N_t \quad (135)$$

$$SSB = \sum_{t=t_S}^{t=t_\lambda} N_t W_t \quad (136)$$

8. Популяционная плодовитость.

$$Ep = \sum_{t=t_S}^{t=t_\lambda} N_t W_t E_{W_t} \quad (137)$$

Модель Рикера является наиболее гибкой, хотя и не лишена некоторых недостатков, в частности, отсутствия возможности получить простое аналитическое решение.

Продукционные модели.

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

Основная идея продукционного подхода сводится к следующей схеме:

1. В отсутствие промысла результаты роста популяции (пополнение + весовой рост) уравниваются потерями из-за естественной

смертности. Биомасса запаса стабилизируется на некотором уровне, определяемом емкостью среды;

2. Промысел, как дополнительная причина смертности, сокращает запас и тем самым нарушает сложившееся равновесие. Продуктивность запаса возрастает благодаря высвободившимся кормовым ресурсам и стремится вернуть запас в утраченное равновесное состояние;
3. Если прибавочную продукцию уравнивать величиной промыслового изъятия, то запас сохранится в этом новом состоянии равновесия, которое соответствует данной интенсивности промысла.

Модель И.Ф. Баранова.

Самая первая производственная модель была разработана Ф.И.Барановым, который попытался составить прогноз вылова северо-каспийской воблы на год вперед с учетом результатов промысла в текущем году. Суть рассуждений Баранова сводится к следующему: если в текущем году промысел изъят некоторую часть запаса, то в результате высвобождается определенный объем пищевых ресурсов. За счет питания этими ресурсами запас рыб восстанавливается и снова используется промыслом. Чем больше было изъято рыбы, тем большее сформируется новой продукции, которая может опять изыматься в виде улова. Вывод: промысел сам определяет продуктивность запаса. Ф.И. Баранов попытался эту закономерность выразить математически следующим образом.

Пусть производимая годовая кормовая продукция P_k обеспечивает существование в водоеме популяции рыбы биомассой B_{w0} . Соотношение этих двух величин $k = P_k/B_{w0}$ показывает эффективность трансформации энергии в экосистеме.

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

$$Y_W = p_k/r \quad (138)$$

r – кормовой коэффициент.

Если промысел стабилен, то можно предположить следующее равенство

$$kB_W + rY_W = P_k = kB_{W_0} \quad (139)$$

Если ввести коэффициент $y=r/k$, то выражение упрощается до

$$B_W + yY_W = B_{W_0} \quad (140)$$

Интенсивность эксплуатации u – доля биомассы, изымаемая из популяции.

$$u = \frac{Y_W}{B_W + Y_W} \quad (141)$$

Используя вышеуказанные выражения получаем формулу для расчета возможного улова

$$Y_W = \frac{B_{W_0}}{\frac{1}{u} + (y-1)} \quad (142)$$

Современные продукционные модели.

Основное уравнение современных продукционных моделей основано на уравнении Рассела, представленном в виде скорости изменения биомассы

$$\frac{dB}{dt} = B[r(B) + g(B) - M(B) - F(f)] \quad (143)$$

r , g , M – мгновенные коэффициенты скоростей пополнения, роста и естественной смертности.

F - мгновенный коэффициент промысловой смертности, как функция промыслового усилия f .

Первые три параметра выражения характеризуют собственно скорость роста биомассы популяции, который можно обозначить как $G(B)$. Тогда само выражение приобретает вид.

$$\frac{dB}{dt} = B[G(B) - F(f)] \quad (144)$$

Равновесное состояние популяции, таким образом, соответствует равенству

$$G(B) = F(f) \quad (145)$$

Этому же равновесному состоянию советует так называемый равновесный улов

$$Y = BF(f) \quad (146)$$

Кривая уравновешенного улова описывается функцией $Y = Y(f)$. Она может использоваться для регулирования промысла и определения оптимальной величины промыслового усилия для достижения максимального вылова.

Основной продукционной моделью, которая используется в настоящее время, является **модель Шефера**.

Модель Шефера описывает параболическую зависимость величины вылова (в % от имеющейся биомассы популяции) от величины промыслового усилия.

$$Y_W = qfB_\infty - q^2 f^2 B_\infty \frac{1}{k} \quad (147)$$

Где: q – коэффициент уловистости

f – промысловое усилие.

B_∞ - Максимальная уравновешенная биомасса, емкость среды.

k – коэффициент, характеризующий мгновенную скорость роста запаса – биотический потенциал.

Поскольку графиком данной зависимости является перевернутая парабола, максимальный уравновешенный улов MSY (вершина параболы) будет определяться как:

$$MSY = \frac{(qB_\infty)^2}{4q^2 B_\infty \frac{1}{k}} \quad (148)$$

Соответствующая максимальному уравновешенному улову величина промыслового усилия f_{MSY} в этом случае рассчитывается по формуле:

$$f_{MSY} = \frac{1}{2qB_\infty} \quad (149)$$

Кроме определения величины максимального устойчивого улова модель Шефера позволяет рассчитать возможную величину вылова исходя из ожидаемой интенсивности промысла.

Вопросы для самоконтроля.

5. Понятие модели и ее виды?
6. Какие математические модели используются в рыбохозяйственных исследованиях?
7. Аналитическая модель Баранова?
8. Аналитическая модель Бивертон-Холта?
9. Аналитическая модель Рикера?
10. Принципы построения продукционных моделей?
11. Продукционная модель Баранова?
12. Продукционная модель Шефера?

Литература [6,7]

ТЕМА 9. КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕЛОВА

По данным ФАО, в настоящее время более 50% единиц запаса в мире находятся в состоянии перелова или вообще подорваны. В то же время до сих пор нет общепринятого определения как самого явления перелова, так и факторов его определяющих.

Концепция Гейнке (1913)

Согласно концепции немецкого ихтиолога Гейнке, перелов – состояние популяции, вызванное слишком интенсивным выловом, которое характеризуется следующими признаками:

1. Постоянное уменьшение уловов данного вида рыб при постоянной или возрастающей интенсивности лова.
2. Уменьшение средней длины и навески рыб в уловах.
3. Рост относительного количества мелких молодых рыб.

В дальнейшем И.Ф. Барановым было показано, что описанные Гейнке признаки всегда проявляются при воздействии промысла на эксплуатируемую популяцию и не обязательно свидетельствуют о перелове. Например, уменьшение средней длины особи в улове является закономерным процессом и связано с изменением возрастной структуры популяции при увеличении смертности, но не всегда с переловом.

Абстрактный подход И.Ф. Баранова

Проведя аналогию между рыболовным промыслом и вырубкой деревьев на участке леса И.Ф. Баранов сделал вывод, что перелов представляет собой в большей степени экономическую категорию, поскольку экономическая эффективность промысла наступает гораздо раньше, чем биологический «подрыв» популяции.

Современное понимание перелова

В современном понимании *перелов* – ненормальное состояние системы «запас-промысел», которое может рассматриваться как в экономическом, так и в биологическом аспектах.

Рассмотрим различные виды перелова.

А. Экономический перелов.

Экономический перелов имеет место тогда, когда система ведения рыболовства не соответствует интересам получения экономических прибылей. Как разновидности экономического перелова выделяют:

Перелов по улову на усилие, когда прибыль от улова на единицу усилия становится меньше затрат на осуществление этого усилия.

Перелов по качеству продукции может наступить, когда из-за интенсификации промысла закономерное снижение средней длины и навески рыбы в улове размерно-весовые характеристики рыбы снизятся настолько, что она потеряет свою товарную ценность и не будет иметь спроса на рынке.

Б. Биологический перелов.

Биологический перелов наступает тогда, когда в ходе промысла параметры, влияющие на динамику эксплуатируемой популяции, изменяются настолько, что популяция более не в силах поддерживать свою численность и биомассу на каком-либо определенном ранее уровне.

Выделяют несколько причин биологического перелова.

А. Переловом по росту. Такой имеет место в том случае, когда скорость убыли биомассы запаса за счет естественной и промысловой смертностей ($M + F$) превышает скорость ее формирования, как совокупного воздействием пополнения и весового роста рыб ($R + G$). Такая ситуация возможна в следующих случаях:

1) при слишком высокой интенсивности промысла - продукция изымается быстрее, чем прирастает.

2) при слишком раннем возрасте первой поимки - промысел изымает особей слишком рано, не давая им расти.

В результате величина улова оказывается меньше потенциально возможной, которую могла бы обеспечить популяция исходя из ее биологических параметров.

Б. Перелов по пополнению. Перелов по пополнению наблюдается в состоянии системы «запас-промысел», при котором численность родительского стада йод воздействием промысла закономерно снижается настолько, что оставшиеся производители не могут отложить достаточное количество икры, необходимое для нормального пополнения. Одним из признаков такого перелова может быть резкое увеличение в популяции и уловах доли особей старших возрастных групп, что является противоположностью одному из признаков перелова согласно Гейнке.

В. Экосистемный перелов. Экосистемный перелов имеет место в том случае, когда под воздействием промысла численность какого-либо вида закономерно снижается до такого уровня, что он уже не может эффективно

конкурировать за ресурсы и его роль в экосистеме изменяется. В конечном итоге это нарушает сложившийся баланс в рыбном сообществе.

В свою очередь причинами экосистемного перелова могут быть.

- a) Перелов хищника
- b) Перелов конкурента, когда экологическая ниша ценного промыслового вида занимает его менее ценным в промысловом плане конкурентом.
- c) Перелов жертвы, который ведет к снижению кормовой базы всех компонентов, расположенных на более высоких ступеньках пищевой пирамиды водоема.

В настоящее время широко применяется экосистемный подход к рыболовству. Его применение предусматривает ведение рыболовства таким образом, чтобы обеспечить стабильное существование не только целевого объекта, но и всей эксплуатируемой экосистемы.

Таким образом, перелов представляет собой комплексное явление, включающее в себя как биологические, так и экономические аспекты.

В заключение необходимо отметить, что если состояние экономического перелова может быть обратимо путем изменения параметров рыболовства, то биологический перелов может иметь как обратимый, так и необратимый характер.

Вопросы для самоконтроля.

1. Концепция перелова Гейнке?
2. Абстрактный подход и концепция перелова И.Ф. Баранова?
3. Виды и причины экономического перелова?
4. Виды и причины биологического перелова?

Литература [5,6]

ТЕМА 10. ПРОМЫСЛОВЫЕ ПРОГНОЗЫ.

Водные биологические ресурсы (ВБР) относятся к исчерпаемым, но возобновляемым видам природных ресурсов. Их эксплуатация определяется рядом специфических факторов.

1. Сырьевая база всегда нестабильна и подвержена различного рода флюктуациям во времени и пространстве. Этот фактор ведет к необходимости ежегодного состояния величины запаса для определения оптимального режима его эксплуатации.

2. Восстановительная способность ВБР в значительной степени зависит от режима эксплуатации. Чрезмерная промысловая нагрузка может привести к исчезновению предмета эксплуатации.

3. Промысел и другие виды рыбохозяйственной деятельности (искусственное воспроизводство, мелиорация) являются одним из мощнейших факторов, формирующих сырьевую базу.

Ведение рационального рыболовства, при котором поддерживается стабильное существование популяции и добывается максимально возможная величина улова, возможно только на основе постоянного контроля и прогнозирования состояния ВБР.

Промысловое прогнозирование является важнейшей задачей рыбохозяйственной науки. Решение этой задачи в Российской Федерации является функцией Федерального агентства по рыболовству (Росрыболовства) и входящей в него системы научно-исследовательских институтов.

Виды промысловых прогнозов.

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

Выделяют долгосрочный прогноз с заблаговременностью более 5 лет, годовой прогноз на срок от 1 до 5 лет, краткосрочный прогноз на квартал, месяц или декаду.

Годовой прогноз составляется с целью оценки общедопустимого улова (ОДУ) и принятия решения по управлению добывающей базы.

Прогноз включает в себя следующие характеристики:

- оценка состояния и величины запаса основных промысловых объектов, биологические параметры их популяций, численность пополнения.

- прогноз ОДУ.

Разработка годового прогноза происходит в несколько этапов.

1. Сбор данных, характеризующих структуру популяций основных объектов, а также промысловой статистики (объемы вылова и промысловых усилий).

2. Полученные данные используются для разработки прогноза ОДУ. Методики оценки ОДУ зависят от качества и количества собранных данных, оцениваемых видов ВБР и характера рыболовства.

3. Рассмотрение и утверждение полученных оценок ОДУ, которое включает: рассмотрение результатов исследований на научно-промысловых советах, проведение общественных слушаний, представление общих результатов на ученом совете ВНИРО, проведение государственной экологической экспертизы (Минприроды), утверждение объемов ОДУ (Минсельхоз), распределение ОДУ по квотам (Росрыболовство).

Долгосрочный прогноз составляется с целью разработки стратегии планирования развития рыбной промышленности. Основным способом составления долгосрочных прогнозов выступает анализ трендов уловов. Важным условием является соответствие анализируемого ряда прогнозируемому периоду.

Краткосрочный (оперативный) прогноз направлен на оценку возможностей образования промысловых скоплений, определение районов промысла в связи с действием абиотических факторов для эффективного управления промыслом. Оперативный прогноз основан на:

- информации о гидрометеорологических условиях;

- условиях и характере образования промысловых скоплений;
- прогнозе ожидаемой производительности промысла.

Теория краткосрочных прогнозов строится на основе установленных связей между величинами уловов и различных факторов (температура, метеоусловия и т.п.), что требует длительного ряда наблюдений за всеми параметрами среды. В последнее время активно развивается спутниковое зондирование океана.

Методы разработки промысловых прогнозов.

В ходе составления промыслового прогноза оцениваются следующие показатели: ОДУ, ВДУ (возможный допустимый улов), ВВ (возможный вылов) или РВ (рекомендуемый вылов). При определении указанных величин вылова могут использоваться различные подходы.

Прогноз на основе анализа статистики уловов (регрессионный прогноз).

В основу метода положено допущение о том, что величина уловов на усилие прямо пропорциональна величине общего запаса. Многолетняя динамика уловов, таким образом, позволяет судить о динамике запаса. Динамика данных промысловой статистики в зависимости от времени описывается наиболее подходящей регрессией (с наибольшим коэффициентом корреляции). Полученное уравнение регрессии затем используется для прогнозирования будущих уловов.

Если тенденции изменения уловов отражают изменение величины запасов недостаточно четко, величина прогноза ОДУ может быть установлена на уровне среднемноголетнего улова.

Биологический прогноз.

Биологический прогноз основывается на учете биологического состояния стада и влиянии на показатели популяций различных параметров промысла. При составлении биологического прогноза руководствуются следующими закономерностями.

- Высокая интенсивность промысла ведет к уменьшению численности популяции, ее средних характеристик.

- Снижение численности популяции ведет к недоиспользованию кормовой базы.

- В результате снижения численности популяции оставшаяся ее часть лучше обеспечена пищей и имеет более высокий темп роста.

Верными признаются и обратные утверждения.

Исходя из соотношения текущих биологических показателей и средних многолетних уровней возможно изменение текущего уровня эксплуатации в ту или иную сторону. Например, если наблюдается увеличение возраста полового созревания, то можно сделать вывод об ухудшении условий нагула, снижении обеспеченности пищей и превышении плотности популяции относительно среднего показателя. Следовательно, можно и нужно увеличить ОДУ для снижения численности и плотности популяции.

Нужно отметить, что такой чисто биологический подход может лишь качественно указать в сторону оптимизации режима эксплуатации.

Биостатистический метод.

Биостатистический метод основан на обобщении нескольких дополняющих друг друга методик, использующих как биологические показатели популяции, так и статистику промысла. По сути этот метод создает модель популяции, точность которой зависит от качества и количества собранных данных.

Формальная схема расчёта промыслового прогноза.

Исходными данными для составления промыслового прогноза являются:

1. Численность промысловой популяции в базовый год и численность каждой возрастной группы в интервале от возраста пополнения до предельного возраста жизни.
2. Средние индивидуальные показатели рассчитываемые на их основании показатели темпов роста.

3. Динамические параметры: коэффициенты естественной и промысловой смертности.

4. Показатель селективности промысла.

5. Оценка урожайности молоди в текущем году или численности особей в возрасте $t=t_c-2$.

6. Величину годового улова.

Порядок расчетов включает в себя:

Оценка прогнозируемой численности популяции отдельно для каждой возрастной группы.

$$N_{x+2,t+2} = N_{x,t} e^{-Z_t} e^{-Z_{t+1}}$$

Оценка численности пополнения

$$R_{x+tr} = N_0 e^{-M_0}$$

Оценка возможного допустимого улова (ВДУ) по уравнению Рикера

$$Y_{x,t} = F_t q_t N_{x,t} W_{x,t} \frac{e^{G_t - Z_t} - 1}{G_t - Z_t}$$

Расчет ОДУ проводится также по уравнению Рикера, где главным ориентиром является величина промысловой смертности F_t . В качестве такого ориентира при расчете ОДУ могут быть использованы:

F_{MSY} – промысловая смертность, обеспечивающая максимальный улов, оцененный по продукционной модели.

$F_{\frac{2}{3}MSY}$ – промысловая смертность, соответствующая $\frac{2}{3}$ максимального улова

F_{max} - промысловая смертность, обеспечивающая максимальный улов, оцененный по аналитической модели.

F_{MEY} - промысловая смертность, обеспечивающая максимальный экономический улов.

$F_{0.1}$ – промысловая смертность, соответствующая критерию $F_{0.1}$.

F_{LTAY} – промысловая смертность, соответствующая среднему многолетнему уровню (*Long-term Average Yield*)

F_M – промысловая смертность принимается равной естественной смертности.

При отсутствии данных об абсолютной численности популяции для расчётов можно использовать данные по возрастной структуре уловов. Только оценка возрастного состава должна быть выполнена так, чтобы верно отражать возрастной состав популяции, т.е. должны быть использованы отцеживающие орудия. Разница между t_r и t_c не должна превышать прогнозируемый период.

Для определения мгновенного коэффициента промысловой смертности можно использовать значение действительного коэффициента промысловой смертности, который определяется значительно проще.

$$F_x = -\ln(1 - \varphi_{F_x})$$

Первичные расчеты в этом случае проводятся, исходя из утверждения, что промысловая смертность в прогнозируемый период останется на имеющемся уровне. Для дальнейшего уточнения используются соответствующие коэффициенты и множители.

Таким образом, промысловое прогнозирование является главной задачей промысловой ихтиологии. Оно требует знания общих закономерностей динамики эксплуатируемых популяций, точной оценки биологических и промысловых параметров системы «запас-промысел», а также применения математических инструментов, в частности, использования математического моделирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Виды промысловых прогнозов.
2. Краткосрочный прогноз, его цель и используемые для прогнозирования данные.

3. ОДУ, ВДУ, ВВ.
4. Методы оценки ОДУ.
5. Формальная схема расчета ОДУ.

Литература [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. – М.: Изд-во ВНИРО. 2018. – 312 с.
2. Бабаян В. К. Булгакова Т.И., Бородин Р.Г., Ефимов Ю.Н. Применение математических методов и моделей для оценки запасов рыб. – М.: ВНИРО, 1984. - 154 с.
3. Баранов Ф. И. 1918. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Изв. отдела рыбоводства и науч. – промысл. исслед. – Т. I. – Вып. 2.– С. 84–128.
4. Засосов А. В. Динамика численности промысловых рыб // М.: Пищ. пром-сть, 1976. - 312 с.
5. Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне [текст] – Краснодар. – 2005. – 352 с.
6. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. – М.: Пищ. пром-ть, 1974. – 447 с.
7. Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. – М. Пищ. пром-ть, 1979. – 408 с.
8. Шибаев С.В. Промысловая ихтиология (2-е изд.) – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.