

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Ю. М. Салтанов

ПРОМЫСЛОВАЯ ИХТИОЛОГИЯ

*Курс лекций
для студентов, обучающихся на второй ступени
получения высшего образования по специальности
1-74 80 03 Зоотехния*

Горки
БГСХА
2021

УДК 639.2.055
ББК 28.082я73
С16

*Рекомендовано методической комиссией факультета
биотехнологии и аквакультуры 30.03.2021 (протокол № 7)
и Научно-методическим советом БГСХА 31.03.2021 (протокол № 7)*

Автор:
старший преподаватель *Ю. М. Салтанов*

Рецензенты:
доктор сельскохозяйственных наук, доцент *Т. В. Козлова*;
кандидат биологических наук *Г. П. Воронова*

Салтанов, Ю. М.

С16 Промысловая ихтиология : курс лекций / Ю. М. Салтанов. –
Горки : БГСХА, 2021. – 103 с.
ISBN 978-985-882-148-7.

Приведены теоретические основы промысловой ихтиологии как науки о закономерностях динамики эксплуатируемых популяций рыб. Дана характеристика биологических параметров эксплуатируемых популяций и параметров промысла, их свойств, методов оценки и интерпретации.

Для студентов, обучающихся на второй ступени получения высшего образования по специальности 1-74 80 03 Зоотехния.

УДК 639.2.055
ББК 28.082я73

ISBN 978-985-882-148-7

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2021

ВВЕДЕНИЕ

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

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

1. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ИХТИОЛОГИИ

1.1. История появления промысловой ихтиологии как науки

Промысловая ихтиология появилась в ответ на потребность человечества в обеспечении эффективного природопользования. При использовании живых ресурсов водных систем 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 ней он описывает следующий факт.

«В 1376 г. в английский парламент была подана петиция следующего содержания: “В разных местах нашей страны, в морских проливах и бухтах, где до сих пор было обильное и добычливое рыболовство, к большой выгоде страны, оно частью расстроено и стало безвыгодным вследствие того, что некоторые рыбаки ввели в употребление семь лет тому назад новое орудие, называемое *wondy choun*, сделанное наподобие устричной драги. Сеть этого орудия имеет столь частую ячею, что ни одна рыбка, даже самая маленькая, захваченная им, не может уйти и попадает. Кроме того, тяжелое и длинное железо этого орудия уничтожает икру и пищу рыб в сказанных водах, губит залежи устриц, моллюсков и других животных, за счет которых живут большие рыбы. С помощью упомянутого орудия рыбаки захватывают столь большие количества мелкой рыбы, что не знают, что с ней делать, к большому вреду общин королевства и к гибели рыболовства.

Резолюция: Пусть будет составлена комиссия из знающих лиц, чтобы рассмотреть и удостоверить истину сего беззакония, и на основании этого пусть суд восстановит порядок”.

Как видим, вот когда впервые забили набат по поводу введения нового орудия, прототипа современного трала».

С середины XIX в. делаются попытки создать теорию динамики стада рыб. В России это К. Бэр и Н. Я. Данилевский, в Англии –

Ф. Бекленд, в Германии – Ф. Гейнке, В. Гензен, в Дании – К. Г. Дж. Петерсен и др.

Норвежский ученый Й. Хьорт занимался изучением причин колебаний запасов рыб и установил, что урожайные поколения появляются при благоприятных условиях существования популяций. Изучение закономерностей роста и возрастной структуры рыб позволило подойти к определению величины изъятия рыб промыслом (Г. Н. Монастырский, Л. Берталанфи и др.). Теоретическое обоснование биологического и экономического перелова рыб было сделано Э. С. Ресселом.

Ф. И. Баранов выдвинул тезис о том, что промысел является одним из самых мощных факторов, определяющих саму величину промыслового запаса и динамику системы «запас – промысел». Предложенный им математический аппарат моделирования данной системы послужил основой для всех современных методов теории рыболовства.

Проблема прогнозирования уловов имеет важное значение для разработки концепции рационального рыбного хозяйства. Значителен вклад в эту область русских ученых – А. Н. Державина, Г. Н. Монастырского, Т. Ф. Дементьевой и других. Их рекомендациями пользуются ученые отраслевых институтов рыбного хозяйства страны при разработке величины допустимого изъятия рыб.

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

1.2. 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 изучение абиотической среды обитания рыб (гидрология, гидрохимия), исследование кормовой базы рыб (гидробиология), определение условий формирования зон повышенной продуктивности (океанология, морская экология), разработку средств ведения промысловой эксплуатации гидробионтов (промышленное рыболовство), изучение биологии объектов промысла (общая и частная ихтиология).

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

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

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

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

В более широком смысле можно говорить, что промысловая ихтиология связана и с гидрологией, так как условия ведения промысла во многом зависят от геоморфологической и гидрологической характеристик водоема.

Широко применяющееся понятие «теория динамики стада рыб» близко к содержанию предмета «промысловая ихтиология», но, скорее всего, не является его синонимом. Теория динамики стада рыб изучает преимущественно закономерности динамики популяций, обусловленные воздействием комплекса естественных причин.

1.3. Задачи промысловой ихтиологии

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

Теоретические задачи:

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

Практические задачи:

1. Изучение закономерностей формирования пополнения промыслового стада молодью.
2. Оценка оптимальных параметров промыслового использования продукционных свойств популяций, ихтиоценозов и водных экосистем.
3. Разработка биологических оснований правил рыболовства.
4. Составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов вылова рыбы в рыбохозяйственных водоемах.

1.4. Системный подход в промысловой ихтиологии

Исходя из того, что предметом промысловой ихтиологии является система «запас – промысел», которая, в свою очередь, выступает составляющим элементом рыбохозяйственной системы, очевидно, что основным методом изучения должен являться системный анализ.

Системный анализ представляет собой специфический метод исследований, рассматривающий любой предмет изучения как систему, свойства которой невозможно изучить путем исследования отдельных элементов ее составляющих. Как только элементы объединяются в систему, образуются новые свойства, называемые эмерджентными, которые не существовали ранее для отдельных элементов.

По определению Платона, система (целое) – это нечто большее, чем сумма частей. Напримр, эмерджентным свойством системы «за-

пас – промысел» является улов, которого не существует в неэксплуатируемой девственной экосистеме. Величина улова и его качество будут определяться характером отношений между запасом и промыслом.

Рассмотрим базовые понятия системного анализа и их реализацию в промысловой ихтиологии.

Система – это совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях и связях друг с другом, которая образует некоторую целостность или единство.

Система обладает тремя атрибутами – составом, структурой и функцией.

Состав системы – совокупность элементов, составляющих систему. Например, можно говорить о видовом составе ихтиофауны, размерном составе уловов или составе добывающего комплекса – типов судов или орудий лова.

Состав может иметь несколько способов выражения.

Качественный состав – это перечень элементов системы, например, виды рыб в ихтиофауне или типы орудий лова, используемые на промысле.

Количественный состав характеризует величину каждого элемента. Для ихтиоценоза это может быть численность или биомасса отдельных видов рыб или размерных групп; для промысла – количество орудий лова различных типов, судов либо величина их годового промыслового усилия (табл. 1).

Таблица 1. Способы представления состава и структуры системы

Элемент	Состав			Структура	
	Качественный	Количественный		Численность, %	Биомасса, %
		Численность, тыс. экз.	Биомасса, т		
Лещ	+	200	100	40	44
Щука	+	50	75	10	33
Плотва	+	250	50	50	22
Сумма		500	225	100	100

Структура системы – это характер связей между элементами, которые обеспечивают ее существование как целостного объекта. Структура может быть представлена тремя способами:

1) качественной структурой – в виде блок-схемы, характеризующей связи между элементами;

2) количественной структурой – как потоками вещества или энергии между элементами;

3) организационной структурой, представляющей собой соотношение количества каждого элемента в системе.

Функция – это закон, по которому изменяются во времени состав и структура системы. Примерами функции системы может быть изменение видовой структуры уловов в процессе эволюции промысла.

Иерархичность – свойство системы, заключающееся в том, что каждый элемент системы можно представить как системы (подсистемы) более низкого уровня. Например, ихтиофауна водоема может подразделяться на промысловую и непромысловую, популяция – эксплуатируемую и неэксплуатируемую части, молодь и нерестовый запас, каждый из которых является системой, имеющей собственную размерную или возрастную структуру.

Таким образом, системный анализ состоит в определении состава, структуры и функции изучаемой системы.

1.5. Роль математических методов в промысловой ихтиологии

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

Для разработки мероприятий по рациональному использованию продукционных свойств популяций рыб необходимо знать, какая величина улова может быть получена при той или иной интенсивности и селективности промысла, и выбрать оптимальное сочетание этих параметров. Необходимо также гарантировать сохранение запаса и обеспечение достаточного воспроизводства молоди. Очевидно, что решение данной задачи не может быть найдено путем проведения натурального эксперимента – варьирования параметров рыболовства и анализа получаемых откликов системы. Результат эксперимента может быть весьма негативным как по соображениям сохранения биологического ресурса (при очень высокой интенсивности промысла стадо может

быть просто уничтожено), так и ввиду технической сложности и высокой стоимости изменения режима рыболовства. В связи с этим единственным подходом к исследованию закономерностей динамики эксплуатируемых популяций рыб и разработке принципов рационального использования является метод моделирования.

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

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

Обратный переход от модели к оригиналу называется интерпретацией.

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

Реальные, или натуральные (физические, аналоговые), модели являются уменьшенным образом оригинала. Например, аквариум как модель экосистемы водоема. Реальные модели достаточно полно отражают свойства экосистемы, но имеют существенные ограничения технического характера. Например, в аквариуме невозможно исследовать влияние тралового лова на структуру эксплуатируемой популяции рыбы.

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

Знаковые модели, в свою очередь, подразделяются на концептуальные и математические.

Концептуальные модели – формализованный и систематизированный вариант традиционного естественнонаучного описания изучаемой экосистемы. Это описание может состоять из текста, описывающего

систему, таблиц (например, численность и плотность популяций различных видов в экосистеме), графиков (например, график зависимости биомассы планктонных ракообразных от биомассы рыбы), блок-схем, показывающих структуру экосистемы и связи между ее компонентами.

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

Математические модели описывают состояние и динамику системы с помощью языка математики. В зависимости от применяемого математического аппарата выделяют аналитические и имитационные модели.

Аналитические – описывают экосистемы в виде аналитических уравнений, решение которых позволяет получить однозначную оценку изучаемого параметра в виде некоторого выражения. Например, уравнение В. С. Ивлева (1955) – зависимость величины рациона рыбы R от концентрации пищи B :

$$R = R_{\max} (1 - e^{rB}), \quad (1)$$

где R_{\max} – максимально возможный рацион;
 r – коэффициент.

Аналитический подход обычно принимает во внимание очень небольшое количество параметров и позволяет получить качественную картину поведения системы в целом, не затушевывая ее множеством частных подробностей.

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_1}{dt} = (a_{11} - a_{12}N_2)N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} = (a_{21}N_1 - a_{22})N_2 \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где N_1, N_2 – численность хищника и жертвы соответственно;
 $a_{i,j}$ – коэффициенты.

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

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

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

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

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

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

2. МЕТОДЫ СБОРА ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. ОРУДИЯ РЫБОЛОВСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ СБОРА ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Рыболовный промысел. Классификация орудий рыболовства

В отличие от других биологических или экологических исследований, специфика рыбохозяйственных наблюдений заключается в том, что в подавляющем большинстве случаев все они имеют один источник информации – улов, а цель исследования – оптимизация уловов. Следовательно, вся структура наблюдений должна базироваться именно на анализе уловов (промысловых, контрольных, экспериментальных и т. д.), остальные источники информации являются вспомогательными, хотя и важными.

В морских и внутренних водоемах видовой состав промысловых уловов часто весьма разнообразен, но существующая промысловая статистика, как правило, не дает верного представления о действительном соотношении видов. Такие данные промысловой статистики, неправильно отражая действительное соотношение видов рыб, особенно младших возрастов, могут стать причиной серьезных ошибок как при оценке запасов и планировании уловов на ближайшие годы, так и при разработке мероприятий охранного характера. Поэтому регулярные анализы видового, размерного и возрастного составов промысловых уловов – задача столь же важная и необходимая, как изучение возраста и темпа роста рыб, возраста наступления половой зрелости и других биологических показателей.

Основным источником ихтиологических материалов являются промысловые уловы. Промысел находится в тесной взаимосвязи с эксплуатируемым запасом, и знание конструктивных особенностей орудий рыболовства является важным по ряду аспектов:

1) в зависимости от принципа действия орудий рыболовства, их конструкции, селективных свойств будет оказываться то или иной воздействие на популяцию рыбы;

2) конструкция орудий лова в значительной степени зависит от биологических и даже морфологических особенностей объектов промысла. Так, например, для «высокотелых» и «плоских» рыб используются сети с различной посадкой, которая определяет форму ячеи, наиболее адекватную для вида;

3) знание конструкции орудий лова позволяет использовать их для оценки численности рыб методом прямого учета.

Рыболовные орудия – средства, используемые в промышленном рыболовстве и обеспечивающие лов рыбы и ее транспортировку на добывающее судно или на берег.

Действие всех типов орудий лова заключается в создании некоторой «зоны удерживающего действия», попав в которую, рыба не имеет возможности уйти и, таким образом, отлавливается.

В зависимости от целей вылова орудия подразделяются на промысловые, контрольные и исследовательские орудия лова. По способу организации промысла орудия промышленного рыболовства разделяются на активные и пассивные. К активным орудиям лова относятся кошельковые неводы и тралы, которые достигают и захватывают косяки рыбы. К пассивным орудиям рыболовства относятся все неподвижные орудия лова, в которые рыба попадает сама: крючковые снасти, сети, стационарные неводы, разнообразные ловушки.

В зависимости от классификационных признаков существует много видов классификаций. Например, по роду материалов орудия лова делятся на сетные и несетные; по месту применения – на речные, озерные, морские или океанические.

Кроме того, существуют донные и разноглубинные орудия лова, прибрежные и для лова вдали от берегов и т. д. Наибольшее значение имеет классификация по принципу действия.

Объеживающие орудия – принцип действия их основан на том, что орудия лова в виде сетной стены выставляют на пути хода рыбы, которая, пытаясь пройти сквозь эту преграду, застревает в ячейках сети, т. е. объеживается. К объеживающим орудиям лова относятся ставные плавные и дрейфтерные сети.

Отцеживающие орудия лова – это сетные орудия лова, в которых рыба может быть отделена от воды путем фильтрации (отцеживания) воды сквозь ячейки сетного полотна. К отцеживающим орудиям лова относятся: всевозможные тралы, невода разных конструкций – закидные, кошельковые, ботальные, мутники, заводные орудия – бредни, волоки. Некоторые специалисты относят к отцеживающим орудиям и небольшие сетевые снасти, применяемые исключительно любителями: саки, подъемники.

Стационарные орудия лова представляют собой разнообразные неподвижные ловушки, в которых используются лабиринты из сетных стенок. Применяются в прибрежной ловле. Наиболее распространены

ными являются ставные неводы, в которых рыба направляется в ловушку с помощью специальной сетной стенки.

Коллющие орудия лова разделяются на крючковые и остроговые. Из остроговых, к которым относятся остроги, копыя, гарпуны, использовались лишь гарпуны в китобойном промысле. Крючковые орудия лова применяют при ярусном промысле.

Ярусный промысел ведут на специально оборудованных судах, имеющих ярусоподъемники. Ярусы состоят из прочного каната (хребтины) длиной в несколько километров (до 70) с прикрепленными к канату на поводках буями – вешками и крючками.

К прочим орудиям лова относят рыбонасосы, часто работающие с дополнительными средствами привлечения рыбы в зону отсоса (подводное освещение, электроток, звук и др.), а также разнообразные местные орудия лова.

Научная классификация орудий рыболовства.

В наиболее законченном виде классификация рыболовных орудий разработана А. И. Трещевым. Она основана на анализе конструкций рыболовных орудий и принципов их действия и представляет собой трехуровневую систему. Выделяются классы орудий, внутри классов – группы, внутри групп – виды. Классы характеризуют принципы лова, обозначаются римскими цифрами. Группы характеризуют способы осуществления принципов лова, обозначаются буквами латинского алфавита. В соответствии с этими определениями все известные в настоящее время орудия промышленного рыболовства разделяются на 8 классов.

В приведенной системе классификации для определения принадлежности любого современного рыболовного орудия достаточно трех знаков, обозначающих класс, группу и вид. Например, кошельковый невод, применяемый с двух судов – II-B-2; сеть плавная морская одностенная (дрифтерная) – IV-B-5 и т. д. На практике, в особенности на внутренних водоемах, большинство орудий рыболовства имеет мест-

Ю у

Сам промысел описывается продолжительностью лова, промысловой мощностью, интенсивностью лова и суммарным промысловым усилием. Орудия лова характеризуются размерами, уловистостью, селективностью и способом измерения промыслового усилия, которое они создают.

Размеры орудия. Размеры орудия определяют зону его действия (облова). Под зоной действия понимается площадь или объем, облавливаемый орудием за единицу времени или за один цикл облова. Для каждого класса орудия лова существуют различные размерные характеристики, определяющие зону действия. Так, для донного трала – это расстояние между траловыми досками, для разноглубинного трала – расстояние между концами крыльев, для ставного невода – длина крыла. Схема расчета зоны действия некоторых орудий лова в зависимости от их размерных характеристик приведена на рис. 1.

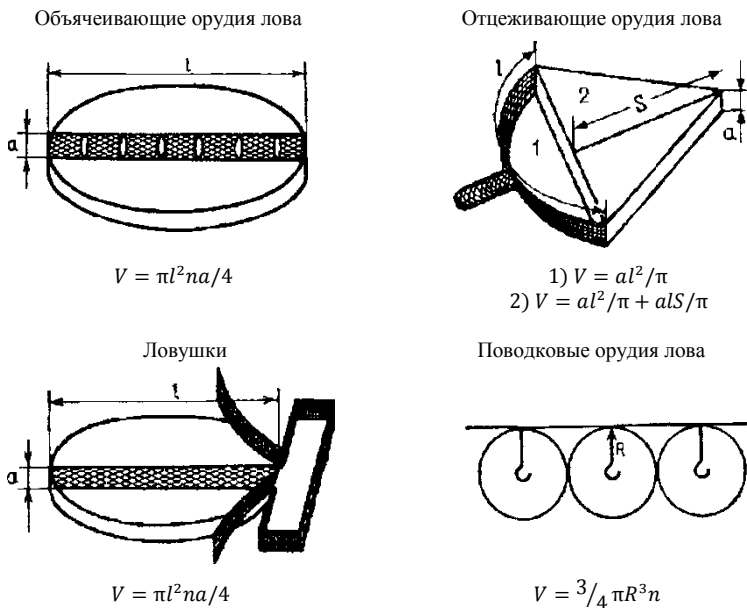


Рис. 1. Зоны облова основных орудий лова

Если известны площадь облова или обловленный объем, то по величине улова легко может быть определена концентрация рыбы.

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

Уловистость определяется:

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

Уловистость орудий характеризуется коэффициентом уловистости.

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

$$q = Y_N / N; \quad 0 \leq q \leq 1. \quad (3)$$

Коэффициент уловистости изменяется в пределах от нуля до 1. В зависимости от конструктивных особенностей он может колебаться для донных тралов в пределах 0,3–0,6, для разноглубинных – в пределах 0,2–0,4, для закидных неводов – в пределах 0,1–0,4.

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

Практическое определение коэффициента уловистости оказывается чрезвычайно сложной задачей по нескольким причинам:

1) трудно определить количество рыб, попавших в зону облова (так как их тоже надо было бы поймать и пересчитать, но как посчитать, например, количество рыб, которое прикоснулось к ставной сети?);

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

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

Селективность – способность орудия лова улавливать рыбу разного размера.

Селективность определяется:

- для сетных орудий лова – шагом ячеи;

- для крючковых орудий – размером крючка.

Селективность отцеживающих орудий лова, к примеру невода, определяется соотношением между периметром ячеи, равным $4a$, и максимальным обхватом тела рыбы s , обычно в области перед спинным плавником. Все рыбы, для которых справедливо соотношение

$$s > 4a, \quad (4)$$

не могут пройти через ячею и полностью улавливаются.

Мелкие рыбы, у которых максимальный обхват тела меньше периметра ячеи, проскакивают через ячею и не улавливаются.

Единица промыслового усилия орудий лова. Каждое орудие рыболовства в силу своих конструктивных особенностей, размеров и способа применения оказывает большее или меньшее воздействие на водные биоресурсы.

В промысловой статистике принимаются в основном те показатели, которые являются более или менее доступными для учета. Таким показателем является промысловое усилие, специфичное для каждого типа орудия лова и отражающее его промысловые возможности.

Единичное промысловое усилие – это некоторая величина, пропорциональная промысловой мощности данного орудия – площади или объему воды, которые облавливаются за единицу времени или за одну промысловую операцию.

В зависимости от типа орудия за единицу промыслового усилия могут приниматься час траления, сутки лова или промысловая операция определенного орудия.

2.3. Основные параметры промысла

Параметры промысла предназначены для оценки его интенсивности, результатов и степени воздействия на эксплуатируемый запас. К ним относятся время лова, промысловая мощность, собственно интенсивность промысла и величина промыслового усилия. Производной характеристикой является величина улова, приходящаяся на единицу промыслового усилия. Понятно, что все эти показатели оцениваются на основе знания параметров используемых орудий лова.

Время лова T_f – характеризует продолжительность ведения промысла в течение года и может выражаться несколькими способами применительно к различным типам орудий лова:

- в единицах времени для орудий, продолжительность действия которых может измеряться в единицах времени. Справедливы, например, такие показатели времени лова, как количество часов траления, суток застоя сетей или ловушек;

- в количестве промысловых операций для орудий лова, продолжительность действия которых не может измеряться в единицах времени или показатель времени лова не имеет смысла. Например, продолжительность замета закидного невода не имеет никакого значения с точки зрения учета интенсивности промысла. Важен сам факт замета. К этим орудиям лова применяется показатель количества промысловых операций – заметов, сетепостановок и т. п.

К некоторым орудиям лова применяются оба способа представления. Например, в траловом промысле могут использоваться показатели «количество часов траления» или «количество тралений», между которыми существует прямая зависимость.

Довольно часто время лова измеряют в количестве дней ведения промысла, суток отсутствия в порту.

Конкретный показатель времени лова выбирается исходя как из свойств класса орудия, так и доступности информации, но в любом случае время лова является параметром, характеризующим интенсивность промысла.

Промысловая мощность – объем воды W_f или площадь водоема S_f , которая облавливаются данным типом орудия или видом промысла за единицу времени. Этот показатель характеризует технические возможности добывающего комплекса с точки зрения характера воздействия на рыбные запасы и оценки эффективности промысла. Различные орудия лова за единицу времени могут облавливать различные объемы водной массы и, следовательно, обеспечивать разные уловы.

Промысловое усилие E_f – количество усилий, затрачиваемых на ведение промысла.

Величина промыслового усилия может выражаться в любых единицах, пропорциональных промысловой мощности, причем коэффициент пропорциональности, как правило, неизвестен:

$$S_f = \alpha E_0. \quad (5)$$

Каждый тип орудия лова и промысел в целом может иметь свои единицы выражения промыслового усилия.

Зная промысловое усилие единичного орудия (или одной промысловой операции) и продолжительность лова (или количество промысловых операций), можно определить общее промысловое усилие, которое развивается на водоеме в течение года:

$$E = E_0 T_f. \quad (6)$$

Данное уравнение справедливо только в случае «монопромысла», когда он ведется одним типом орудия лова. В случае использования комплекса орудий лова необходимо определять промысловое усилие по каждому из них отдельно, а затем, используя соответствующие коэффициенты перевода, суммировать усилия.

Понятие «промысловое усилие» является универсальным и может применяться в различных областях. Так, с биологической точки зрения, усилие пропорционально промысловой смертности, с экономической – затратам на ведение промысла.

Интенсивность промысла (лова) I – отношение обловленной площади или объема воды к площади всего водоема или объему его водной массы, выраженное в долях от единицы или процентах.

Расчет интенсивности промысла в единицах объема теоретически имеет право на существование, однако используется весьма редко, так как система регулирования рыболовства все-таки имеет привязку к промысловым районам или участкам.

В идеальном случае интенсивность промысла может быть рассчитана двумя способами:

- 1) через произведение промысловой мощности на время лова, отнесенной к площади водоема;
- 2) через количество промысловых операций (циклов облова) и промысловой мощности одной операции, отнесенных к площади водоема

$$I = T_f S_f / S. \quad (7)$$

Время лова T_f может интерпретироваться как собственно продолжительность лова, так и как количество промысловых операций.

В реальных условиях применение данной формулы не всегда возможно, что связано с трудностью точной оценки размерных характеристик орудий лова и времени. Вместе с тем, учитывая прямую пропорцию между промысловой мощностью S_f и промысловым усилием E , интенсивность промысла можно выразить с помощью последнего показателя:

$$I = \alpha E / S. \quad (8)$$

В этом случае интенсивность промысла будет выражаться уже не в долях от единицы, а в некоторых абсолютных величинах – количестве рыбаков, судов, орудий лова, часов траления или сетесутках, приходящихся на единицу площади. Более того, с точки зрения управления промыслом на конкретном водоеме отнесение суммарного промыслового усилия к площади водоема не имеет смысла – усилие регламентируется в целом для водоема или эксплуатируемой популяции. Как следствие, об интенсивности промысла можно судить по пропорциональному ей промысловому усилию:

$$I = \alpha E. \quad (9)$$

Таким образом, оказывается, что интенсивность промысла можно характеризовать как собственно параметром интенсивности, так и суммарным промысловым усилием, развиваемым на конкретном водоеме.

Улов на усилие, или Y/f , – отношение величины улова к промысловому усилию, затрачиваемому на его добычу, например, улов на час траления, улов на одно судно в год, улов на 1000 крючков за сутки. Для каждого типа орудия лова в зависимости от применяемой единицы измерения промыслового усилия улов на усилие может выражаться в своих единицах.

Показатель улова на усилие является важнейшей характеристикой системы «запас – промысел» по двум причинам.

Величина улова на усилие определяет экономическую эффективность ведения промысла с точки зрения оценки его рентабельности.

Когда стоимость улова, приходящегося на единицу промыслового усилия, будет меньше, чем стоимость единицы усилия, промысел вступает в фазу экономического перелома и прекращается.

Улов на усилие может выступать показателем численности рыб – индексом численности. Чем больше величина запаса, тем больше будет концентрация рыбы и тем больше ее будет отловлено единичным усилием (за час траления или за одну сетепостановку). Таким образом, в условиях установившегося промысла слежение за тенденциями динамики уловов на усилие позволяют судить о динамике самого запаса.

3. ФОРМАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ЖИЗНИ РЫБ

3.1. Возникновение формальной теории жизни рыб

Фёдор Ильич Баранов является основателем современного направления рыбохозяйственной науки, посвященного изучению закономерностей динамики эксплуатируемых популяций рыб и поиску путей рационального использования их продукционных свойств. Однако очень часто его научное наследие сводится лишь к известному уравнению динамики численности поколения, получившего имя автора, которое в исходном виде в настоящее время не используется. В связи с этим считается, что теория рыболовства разработана в основном западными учеными, которые использовали уравнение Баранова в качестве первоосновы.

Рассматриваются основные положения формальной теории жизни рыб, разработанные Ф. И. Барановым еще в начале XX в. Показано, что сформулированные им положения кардинально отличались от чисто биологического подхода к пониманию закономерностей динамики стада рыб, но оказались правильными и послужили базой для создания современной теории рыболовства.

Главные идеи Ф. И. Баранова:

- промысел является одним из наиболее мощных факторов, определяющих динамику численности популяции;
- промысел не приводит к подрыву эксплуатируемой популяции, если обеспечен достаточный уровень пополнения;
- для поддержания нормального воспроизводства достаточно ограничить интенсивность промысла на уровне минимально допустимой величины нерестового запаса;
- если не нарушены условия воспроизводства и пополнение стабильно, эксплуатируемая популяция всегда приходит в стабильное состояние, давая постоянную величину улова;
- никакими мерами регулирования невозможно сохранить запас в девственном состоянии при ведении промысла;
- когда определены биологически безопасные пределы эксплуатации, оптимальный режим рыболовства определяется экономическими соображениями;
- промысел является средством управления продуктивностью популяций;

- влияние промысла на популяцию заключается в закономерном уменьшении величины запаса, средней навески особи в улове и предельного возраста жизни рыбы.

Эти изменения никак не связаны с переловом по пополнению, который, наоборот, сопровождается увеличением навески особи в популяции и улове.

Примечательным является тот факт, что данные теоретические построения были сформулированы в начале XX в., когда многие биологические особенности рыб были еще неизвестны, а математический аппарат описания биологических закономерностей или моделирование не только не существовали, но даже возможность их применения категорически отвергалась биологами.

Теоретические воззрения Ф. И. Баранова были изложены в трех основополагающих статьях: «К вопросу о перелове» [1914], «К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства» [1918] и «К вопросу о динамике рыбного промысла» [1925].

К началу прошлого века стали проявляться факты упадка промысла многих традиционных объектов – камбалы Северного моря, осетровых Каспийского моря, а также ряда других объектов. Ихтиологи назвали это явление «переловом» и стали искать пути различного рода ограничений рыболовства, для того чтобы сохранить запасы.

Выдвигались различные теории, объяснявшие закономерности формирования запасов, – теория «размножения», теория «разряжения», теория «саморегуляции», которые, как правило, базировались на умозрительных соображениях и не подкреплялись данными о фактической динамике численности эксплуатируемых популяций [А. В. Заосов, 1976].

В конце концов к середине XX в. было сформулировано несколько постулатов ихтиологии, объясняющих закономерности динамики стада рыб, которые с течением времени прочно укоренились в сознании специалистов-биологов и теперь воспринимаются как нечто само собой разумеющееся. Сформулируем их:

1. Теория размножения. Промысел будет иметь надежную основу, если дать каждой рыбе хотя бы один раз отнереститься, чтобы обеспечить достаточный приплод;

2. Теория саморегуляции. Промысел не оказывает влияние на популяцию, если не превышает ее способностей к саморегуляции и ведется в соответствии с биологически обоснованными правилами рыболовства;

3. Концепция перелова. Перелов – это явление, вызванное слишком высокой интенсивностью промысла, которая проявляется в «мельчании» рыбы в улове и падении самой величины улова;

4. Теория «неприкосновенного капитала». Естественный запас рыб – это постоянная величина, неприкосновенный капитал, процентами от которого, отнюдь не затрагивая сам капитал, должен довольствоваться промысел.

3.2. Первопричины, определяющие динамику популяции

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

Всякая популяция животных может рассматриваться как открытая самовоспроизводящаяся система, которая при любых изменениях в ней стремится к состоянию равновесия. Условия стабильности системы были сформулированы английским ученым Э. С. Расселом (1947) в виде некоторой аксиомы. Он считал, что на протяжении определенного промежутка времени биомасса популяции остается неизменной, если рост веса равен его убыли.

Первопричинами, обуславливающими равновесие любой части изолированной популяции (т. е. такой, в которой отсутствует эмиграция и иммиграция ее особей), являются: пополнение, весовой рост, естественная смертность и вылов. Уравнение Рассела, примененное им для популяций рыб, можно записать в виде:

$$B_2 = B_1 + (R + G) - (M + F), \quad (10)$$

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

R – пополнение;

G – рост;

M – естественная смертность;

F – вылов.

Очевидно, что популяция будет находиться в состоянии динамического равновесия (стабильности) в том случае, когда положительная

составляющая правой части уравнения будет равна отрицательной составляющей:

$$(R + G) = (M + F). \quad (11)$$

Согласно аксиоме Рассела, воздействие разного рода возмущающих факторов на любую из первопричин, обуславливающих состояние равновесия популяции, вызывает его нарушение и определяет переход системы на новый уровень стабильности. Например, увеличение вылова (F) приведет к возрастанию отрицательной составляющей и уменьшению конечной биомассы стада. Ответной реакцией популяции будет ускорение темпа роста и восстановление биомассы до определенного предела за счет лучшей обеспеченности пищей оставшихся особей. Время перехода на новый уровень стабильности зависит от степени воздействия внешних факторов и регуляторных механизмов популяции.

В общем случае нахождение популяции в состоянии равновесия является для нее обычным, и такое состояние, как правило, используется для исследования закономерностей функционирования популяции. Заметим, что уравнение Рассела лежит в основе всех производственных моделей.

Уравнение Рассела хотя и объясняет закономерности динамики популяции, но из-за своего общего характера не позволяет вскрыть механизм этой динамики. Например, совершенно очевидно, что скорость роста G зависит от ряда параметров популяции (возрастной структуры, темпа весового роста особей, обеспеченности пищей и т. д.) и не будет оставаться постоянной при переходе системы из состояния B_1 в состояние B_2 .

3.3. Сущность формальной теории жизни рыб Ф. И. Баранова

Впервые способ теоретического отображения динамики популяции был разработан Ф. И. Барановым (1918). Этому ученому принадлежит приоритет не только в постановке вопроса о возможности исследования динамики популяции с помощью математической модели, но и в разработке биологических основ их рационального использования. Ф. И. Баранов впервые ответил на вопрос, каким должно быть нормальное состояние стада рыбы и промысла и возможно ли при существовании промысла сохранить рыбные запасы в их первоизданном, первобытном состоянии.

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

Ф. И. Баранов предложил рассмотреть некоторый идеальный случай формирования и динамики численности популяции в изолированном водоеме, рыболовство в котором производится с некоторой постоянной интенсивностью в течение достаточно продолжительного промежутка времени. Предполагается, что в этом водоеме не имеют места эпидемии, резкие колебания гидрологических факторов и тому подобные явления, вызывающие случайные изменения в составе рыбного населения.

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

Кривая выживания – геометрическое место точек, описывающих изменение численности поколения в течение его жизни (рис. 2).

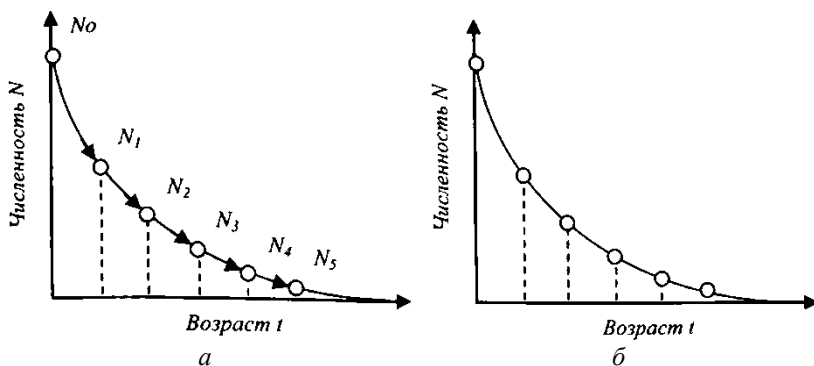


Рис. 2. Динамика численности поколения (а) и кривая выживания (б) идеальной популяции

Форма кривой выживания определяется смертностью рыб Z , т. е. той скоростью, с которой происходит убыль численности поколения, а ее положение – начальной численностью поколения N_0 (рис. 3).

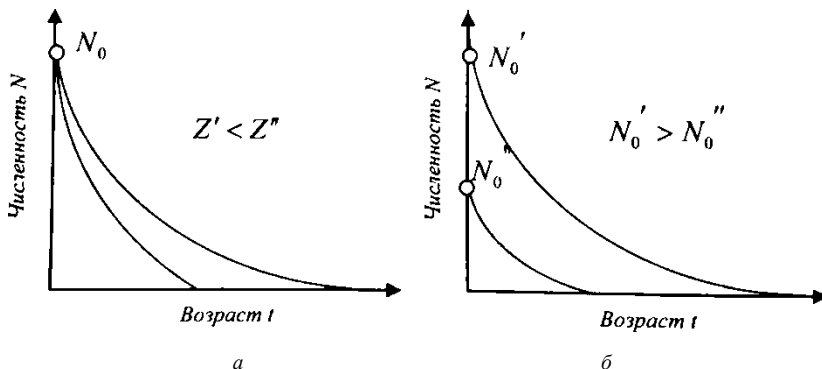


Рис. 3. Кривые выживания для различных значений смертности (а) и начальной численности поколения (б)

Предположим, что нерест рыб происходит ежегодно и из отложенного количества икры выводится и поступает в популяцию постоянное число мальков, равное, допустим, той же начальной численности N_0 . Последнее допущение может быть справедливым, если учесть, что рыбы имеют очень высокую плодовитость и откладывают огромное количество икры. Численность же молоди в большей степени зависит не от этого, а от условий инкубации и уровня развития кормовой базы для мальков. Кроме того, площади нерестилищ обычно бывают ограничены и характеризуются некоторой относительно постоянной величиной.

Тогда по мере старения рыб и перехода в следующую возрастную группу их место займет следующее поколение.

При проведении наблюдения достаточно долго можно увидеть, что формируется популяция, представленная всеми возрастными группами от нуля до предельного возраста жизни рыбы. При этом с возрастом численность постепенно уменьшается. Возрастная структура такой популяции будет описываться кривой населения.

Кривая населения – геометрическое место точек, описывающих возрастную структуру популяции.

Если начальная численность равна N_0 , а скорость, с которой происходит уменьшение численности поколения, равна Z , то кривая населения оказывается тождественной кривой выживания. В таком состоянии популяция может существовать бесконечно долго – вновь появляющиеся особи постоянно заменяют погибающих.

Рассмотрим следующий численный пример (табл. 2, рис. 4).

Таблица 2. Формирование численности популяции

Возраст t , годы	Численность поколений, тыс. экз.						
	Год 1	Год 2	Год 3	Год 4	Год 5	Год 6	Год 7
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2		50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
3			25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
4				12,50	12,50	12,50	12,50
5					6,25	6,25	6,25
Сумма	100,00	150,00	175,00	187,50	193,75	193,75	193,75

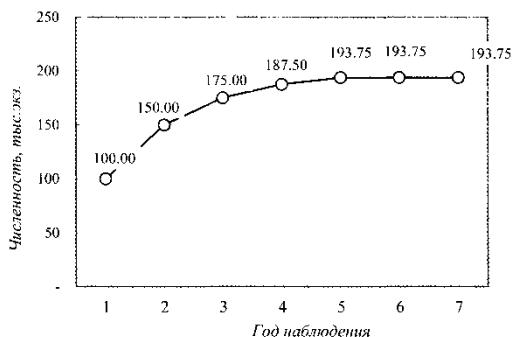


Рис. 4. Схема формирования общей численности популяции

Необходимо принять во внимание, что начальная численность поколения равна $N_0 = 100$ тыс. экз. рыб, и в течение года гибнет половина из них. Таким образом, величина смертности составляет 50 %. Если ежегодно популяция пополняется молодь в количестве 100 тыс. экз., то на втором году она будет состоять уже из двух возрастных групп, численностью соответственно 100 и 50 тыс. экз., на третьем – из трех, численностью 100, 50 и 25 тыс. экз. и так далее. Одновременно увеличивается и суммарная численность популяции от 100 тыс. экз. до 193,75 тыс. экз. Через некоторый промежуток времени численность

достигнет некоторого предельного значения и популяция стабилизируется.

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

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

$$\int \frac{dN}{N} = - \int Z dt ; \quad (12)$$

$$\int \frac{dN}{N} = -Z \int dt ; \quad (13)$$

$$\ln N = -Zt + C ; \quad (14)$$

$$N = Ct^{-Zt}, \quad (15)$$

где C – константа интегрирования.

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

$$N_0 = Ce^{-Z \cdot 0} \Rightarrow C = N_0. \quad (16)$$

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

$$N_t = N_0 e^{-Zt}. \quad (17)$$

Это соотношение называется уравнением Баранова, а коэффициент пропорциональности Z называется мгновенным коэффициентом общей смертности.

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

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

$$Z = F + M. \quad (18)$$

Используя уравнение Баранова, можно описать закон динамики численности:

$$\frac{dN}{dt} = -(F + M)N, \quad (19)$$

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

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}. \quad (20)$$

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

$$\frac{dY_N}{dt} = FN_t. \quad (21)$$

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

3.4. Стабилизация численности популяции

Размерно-возрастная структура популяции в определенный момент времени есть результат взаимодействия в течение предшествующего периода двух популяционных параметров – пополнения молодь и гибели особей. Если первый и второй параметры остаются постоянными на протяжении длительного времени, то и численность популяции будет стабильно одинаковой. В связи с этим возникает базовое определение, связанное с описанием состояния популяции.

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

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

В реальных условиях популяция редко находится в абсолютно стабильном состоянии: ежегодно в зависимости от условий нереста изменяется пополнение; величина смертности также не остается постоянной, а зависит от изменений интенсивности промысла или условий существования рыб в каждом году. Все это отражается на численности и возрастной структуре популяции.

Всякий рациональный промысел заинтересован в поддержании эксплуатируемой популяции на некотором относительно стабильном уровне, который обеспечивал бы получение постоянной величины уловов на протяжении неограниченного времени.

Выводы о закономерностях стабилизации численности популяции:

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

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

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

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

Критерий 1. В стабильной популяции численность каждой более старшей возрастной группы должна быть больше, чем смежной с ней более младшей. Данный критерий вытекает из положения о том, что в

стабильной популяции кривая населения тождественна кривой выживания, когда с увеличением возраста рыбы численность может только уменьшаться.

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

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

4. ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ПОПУЛЯЦИИ

4.1. Статистические параметры популяции

Любая популяция характеризуется рядом признаков, имеет определенную структуру и организацию. Следует отметить, что особые свойства, присущие популяции, отражают ее состояние как группы организмов в целом, а не отдельных особей, т. е. свойство популяции как группы организмов не есть механическая сумма свойств каждого составляющего ее индивидуума.

Параметры – это некоторые показатели, которые описывают исследуемую популяцию.

Популяционные параметры подразделяются на статистические и динамические.

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. Величина популяции в промысловой ихтиологии характеризуется численностью B_N и биомассой B_w , хотя с

общезокологической 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 (рис. 5).

Абсолютные показатели:

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

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

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



Рис. 5. Показатели, характеризующие величину популяции

Относительные показатели являются в значительной степени производными абсолютных показателей:

1. **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 измерения – экз/м², экз/м³, кг/га.

2. **Экологическая плотность** – численность или биомасса, приходящаяся на единицу обитаемого пространства, т. е. площади или объема, которые фактически могут быть заняты популяцией. Этот показатель в ряде случаев является более информативным по двум причинам:

1) способствует более точному описанию распределения популяции по акватории водоема (что приходится учитывать при планировании работ по оценке запасов);

2) дает основу для регулирования рыболовства (дислокации промысла) и оценки его эффективности (лов на участках наибольшей плотности).

3. **Относительная плотность** – это величина, характеризующая плотность одной популяции относительно другой. Данный показатель может применяться в двух случаях:

1) когда известна плотность одной популяции, но невозможно определить плотность другой, обитающей с ней совместно. Например, в водохранилищах лещ и плотва зачастую нагуливаются вместе, но лещ в большей степени приурочен к придонным слоям, где его численность достаточно просто может быть определена стандартным донным тралом. Плотва в это орудие лова не попадает, но оба вида хорошо облавливаются ставными сетями. В связи с этим, не имея данных о величине коэффициента уловистости сетей (который определить практически невозможно), но зная соотношение рассматриваемых видов в сетных уловах, можно по плотности леща установить и плотность популяции плотвы;

2) относительная плотность может использоваться для анализа структуры какого-либо сообщества. Например, можно анализировать структуру ихтиоценоза и ее динамику в относительных единицах – по соотношению численностей или биомасс каждого вида в улове (хотя их абсолютная численность неизвестна). Данный показатель имеет важное значение при регулировании рыболовства (организация специализированного лова на определенных участках или, наоборот, запрещение орудий, имеющих повышенный прилов нецелевых видов).

Относительная плотность выражается в виде доли или процента численности (pN) или биомассы (pB) вида в улове или ихтиоценозе:

$$PN_i = pN_1, pN_2, pN_3 \dots pN_n; \sum_{i=1}^{i=n} pN_i = 1, \quad (22)$$

$$PB_i = pB_1, pB_2, pB_3 \dots pB_n; \sum_{i=1}^{i=n} pB_i = 1. \quad (23)$$

где i – номер вида;

n – количество видов.

4. **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. Например, чем больше численность рыб в водоеме, тем, вероятно, больше будет и величина улова, получаемого за один час траления:

$$\frac{Y_W}{t} \approx qB_N, \quad (24)$$

где q – некоторый коэффициент пропорциональности.

В результате, не зная коэффициента пропорциональности (q) и, следовательно, не имея возможности рассчитать абсолютную численность, можно судить о величине популяции по уловам, приходящимся на единицу промыслового усилия, или индексам численности.

Такой подход позволяет:

- проследить динамику численности запаса по годам и сезонам;
- дать прогноз вылова по тенденциям в изменениях относительной численности, пропорциональной абсолютной численности;
- оценить эффективность мер регулирования рыболовства с точки зрения влияния его на состояние запаса.

Типичными индексами численности являются:

- величина улова на усилие;
- концентрация пелагической или донной икры;
- концентрация кормовых организмов.

Индексом численности может выступать также плотность рыбного населения, определенная каким-либо доступным способом, тогда будет выполняться равенство $b_N = B_N/S, b_w = B_w/S$.

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.

Иная ситуация будет иметь место, если за показатель относительной численности выбрать, например, концентрацию кормовых орга-

низмов какого-либо вида. Очевидно, что чем больше численность популяции, тем меньше будет количество корма (разумеется, исключая те крайние случаи, когда биомасса кормовых организмов снизится до такой степени, что повлечет за собой переход консумента на потребление замещающего корма). Эта обратная зависимость также может использоваться для оценки относительной численности.

Более сложная связь численности может наблюдаться для величины улова пассивными орудиями лова, например крючковой снастью или ставной сетью. При малых концентрациях рыбы вероятность ее поимки будет прямо пропорциональна численности, но при слишком высокой концентрации в скором времени большинство крючков будут заняты пойманной рыбой, и вероятность поимки на оставшиеся крючки существенно снизится.

Конечно, в реальных условиях оценка относительной численности не всегда является настолько простой. Например, улов на усилие зависит не только от концентрации рыбы, но и от техники промысла. Использование гидроакустической аппаратуры позволяет рыбакам находить скопления рыбы и направлять на них орудия лова. Понятно, что получаемые в результате уловы не будут прямо пропорциональны величине общего запаса.

Состав популяции. Состав – это совокупность элементов, образующих рассматриваемую систему – популяцию.

Состав может быть представлен в качественных и количественных показателях.

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

- размеры рыб (L). В качестве базовой могут приниматься различные размерные характеристики – общая (зоологическая) длина L_z , промысловая длина L или длина по Смигу L_s . Выбор той или иной длины не имеет теоретического обоснования и связан с традициями в исследованиях и международными соглашениями.

- возраст рыб (t);

- пол (S). Пол может принимать значения: F – самки, M – самцы, j – неполовозрелые, H – гермафродиты;

- стадии зрелости (Z). Применяется несколько шкал зрелости, учитывающих биологические особенности видов. Наиболее важными являются признаки, свойственные зрелым и незрелым особям, так как

это позволяет исследовать характер воспроизводства популяций.

2. 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 N_L или ихтиомасса B_L отдельных размерных групп;

- возрастной состав – численность N_t или ихтиомасса B_t отдельных возрастных групп;

- половой состав – численность N_s или ихтиомасса B_s особей различных полов;

- репродуктивный (генеративный) состав – численность N_z или ихтиомасса B_z 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.

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.

В зависимости от способа группировки представляется возможным выделить два типа структур – собственную структуру, характеризующую способ организации изолированной популяции, и экологическую структуру, которая проявляется в процессе взаимодействия популяции с окружающей средой.

Собственная структура популяции. Собственная структура характеризует способ организации популяции без учета ее связи с внешней средой.

Например, всех рыб можно сгруппировать по признаку их длины и получить размерную структуру популяции, причем эта структура будет отражать определенные свойства популяции. Так, особи, входящие в группу «мелкие», не участвуют в процессе размножения, но их чис-

ленность через определенное время пополняет среднюю группу. Средняя группа начинает принимать участие в процессе воспроизводства и частично облавливается промыслом. Все крупные особи участвуют как в процессе воспроизводства, так и в промысле, и, следовательно, их биомасса определяет величины уловов. В процессе роста рыбы переходят из одной группы в другую и определяют изменения ее численности. Выделенные группы находятся друг с другом в определенной связи, в том смысле, что соотношение их численностей и биомасс определяет характер динамики популяции. Независимо от величины общей численности или численности каждой из выделенных групп, если на протяжении ряда лет наблюдается низкий процент (доля) молоди, то это может свидетельствовать о перелове по пополнению или естественном нарушении воспроизводства.

К числу собственных структур могут быть отнесены следующие:

- размерная структура pN_L, pB_L – соотношение численностей или биомасс отдельных размерных групп;
- возрастная структура pN_t, pB_t – соотношение численностей или биомасс отдельных возрастных групп;
- половая структура pN_s, pB_s – соотношение численностей или биомасс различных полов, неполовозрелых особей и гермафродитов;
- репродуктивная структура pN_z, pB_z – соотношение численностей и биомасс различных группировок, выделенных по их участию в процессе воспроизводства. В простейшем случае популяцию можно разделить на две части – половозрелые и неполовозрелые особи;
- нерестовая структура – соотношение численностей пополнения (R_g) впервые нерестящихся особей и остатка (D) особей, нерестящихся повторно.

Возможны более сложные виды структур, связанные с двумя признаками, например, размерно-возрастная, половозрастная.

Каждую из собственных структур определяют функции, связанные с возрастом рыбы, которые обычно изображаются в виде кривых выживания, биомассы, полового состава, созревания. Оценка данных кривых является обязательным элементом функционального анализа популяций.

Экологическая структура. Экологическая структура определяется дифференциацией особей с учетом различия их экологических свойств. Несмотря на все многообразие отношений, существующих в экосистемах водоемов, экологическая структура может быть сведена к нескольким наиболее важным.

1. *Пространственная структура* характеризует соотношение чис-

ленности 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. Выделяются следующие экологические группы рыб:

- анадромные – виды рыб, воспроизводящихся в реках, озерах и других водоемах, 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, 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, способных совершать миграции на большие расстояния и встречающихся в промысловых скоплениях как в исключительной экономической зоне, так и далеко за ее пределами.

Управление запасами трансграничных, трансзональных и далеко мигрирующих видов находится под международным контролем (рис. 6).

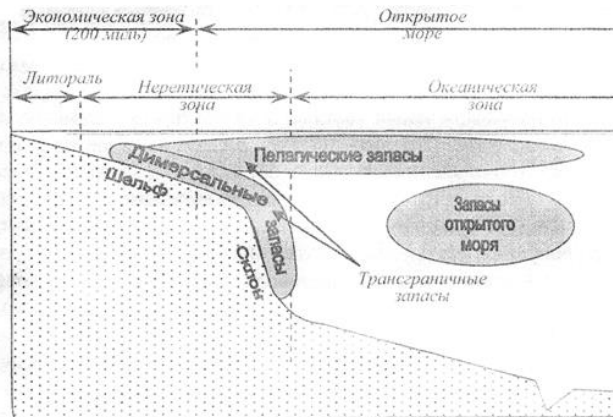


Рис. 6. Пространственная структура промысловых запасов

2. *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.

3. *Трофическая структура* характеризует соотношение численности или ихтиомассы частей популяции, различающихся по характеру питания. В подавляющем большинстве случаев младшие возрастные группы имеют планктонный тип питания, а старшие – переходят на потребление бентоса или хищничают.

4. *Промысловая структура* представляет собой способ организации популяции с точки зрения взаимодействия с промыслом как экологическим фактором. В связи с этим выделяют две части популяции – одну составляют те особи, которые не удерживаются орудиями лова и проскакивают через ячею, другую – особи, которые улавливаются.

Границы между этими частями популяции определяются как биологическими особенностями вида, так и характером ведения промысла с точки зрения его дислокации и селективности. До того момента, пока популяция не вступила во взаимоотношения с промыслом как экологическим фактором, невозможно выявить промысловую структуру. С другой стороны, изменение характера рыболовства повлечет за собой изменение промысловой структуры, в то время как собственные структурные характеристики могут остаться неизменными.

В большинстве случаев, но не всегда, экологическая структура бы-

вайт связана и обусловлена собственной структурой популяции. Например, возникновение группировок, различающихся по характеру питания, обычно бывает связано с размерами особей, по местообитанию – с возрастом и т. д.

4.2. Динамические параметры популяции

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

1. Динамические параметры, измеряемые в единицах скорости. К ним относятся четыре параметра, используемых в уравнении Рассела (10):

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.

Динамические параметры этой группы используются для составления дифференциальных уравнений, где они отражают скорость того или иного процесса. Например, в уравнении Баранова смертность $Z = M + F$ есть скорость уменьшения численности рыб.

2. Динамические параметры, выражаемые как эффект динамического процесса, происшедшего в течение определенного периода времени (сутки, месяц, год). К ним относятся:

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

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

Динамические параметры этой группы определяются через интегрирование выражений, которые описывают изменение во времени статических параметров, например, уравнение улова:

$$Y_N = - \int_{t=0}^{t-1} FN_t dt . \quad (25)$$

Все статические параметры определяются непосредственно в процессе наблюдений (исследований) за популяцией с помощью различных инструментов.

Динамические параметры рассчитываются на основании сопоставления значений статических параметров, определенных за два или более наблюдений в разные сроки. Например, для оценки годовой продукции необходимо определить биомассу популяции, по крайней мере, в начале и в конце года.

4.3. Промыслово-биологические параметры популяции

Промыслово-биологическими называются параметры, связанные с эмерджентными свойствами популяции, которые проявляются во взаимодействии ее с промыслом. 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. Это обуславливает два следствия.

Во-первых, результаты оценок являются свойством системы запас – промысел и для характеристики собственно биологической популяции должны быть соответствующим образом интерпретированы. Например, средняя длина особи в улове может характеризовать популяцию только с учетом селективных свойств применяемого орудия лова.

Во-вторых, 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 прилова молоди, изменении размера 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.

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

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.

Возраст пополнения – 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.

Поклоение (когорта) – рыбы, родившиеся в одном году, – одно-возрастные особи, возрастная группа.

Возраст вступления в эксплуатацию (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.

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 и предельным возрастом жизни рыбы.

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

Возраст наступления половозрелости (созревания) – 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 находится в промежутке от наступления половозрелости до наступления предельного возраста.

5. СМЕРТНОСТЬ РЫБ

5.1. Коэффициенты смертности и выживания

Смертность – уменьшение численности рыб под воздействием различных причин.

Процесс убыли может характеризоваться несколькими показателями – в виде мгновенных коэффициентов смертности, действительных коэффициентов смертности и коэффициента выживания.

Мгновенный коэффициент смертности Z характеризует скорость уменьшения численности рыб за элементарный промежуток времени. В уравнении Ф. И. Баранова данный показатель используется как коэффициент пропорциональности:

$$\frac{dN}{dt} = -ZN; \quad (26)$$

$$N_t = N_0 e^{-Zt}. \quad (27)$$

Пусть N_{t_1} – численность рыб в момент времени t_1

$$N_{t_1} = N_0 e^{-Zt_1}, \quad (28)$$

и N_{t_2} – соответственно численность рыб в момент времени t_2

$$N_{t_2} = N_0 e^{-Zt_2}. \quad (29)$$

Разделив уравнение (29) на уравнение (28) и проведя преобразования, получаем формулу расчета мгновенного коэффициента смертности для периода $t_1 - t_2$:

$$Z = \frac{-\ln \frac{N_{t_2}}{N_{t_1}}}{t_2 - t_1}. \quad (30)$$

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

В том случае, когда интервал времени равен единице (обычно один год) и анализируется смертность некоторой возрастной группы t , формула расчета мгновенного коэффициента смертности упрощается:

$$Z = -\ln \frac{N_{t+1}}{N_t}. \quad (31)$$

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

Пусть N_t – численность рыб в момент времени t и N_{t_2} – соответственно численность рыб в момент времени t_2 . Тогда действительный коэффициент смертности будет определяться выражением

$$\varphi_Z = \frac{N_{t_1} - N_{t_2}}{N_{t_1}}, \quad (32)$$

$$\varphi_Z = 1 - \frac{N_{t_2}}{N_{t_1}}. \quad (33)$$

Для единичного промежутка времени действительный коэффициент смертности будет равен

$$\varphi_Z = 1 - \frac{N_{t+1}}{N_t}. \quad (34)$$

Единицы измерения действительного коэффициента φ_Z – доли или проценты. Пределы изменения – от нуля до единицы.

Коэффициент выживания S – это величина, дополняющая действительный коэффициент смертности до единицы

$$S = 1 - \varphi_Z. \quad (35)$$

Он показывает, какая часть рыб остается в популяции (выживает) к определенному моменту времени.

Формула расчета:

$$S = \frac{N_{t+1}}{N_t}. \quad (36)$$

Единицы измерения – доли или проценты. Пределы изменения – от нуля до единицы.

Все показатели смертности могут определяться как для отдельных возрастных групп, так и для популяции в целом.

Используемая величина смертности учитывает всех погибших особей независимо от того, умерли ли они от старости и болезней, были ли съедены хищником или погибли от каких-либо других причин. Такое понимание смертности пригодно лишь для анализа наиболее общих закономерностей функционирования популяций. В то же время в ихтиологии очень большое значение имеют и компоненты, составляющие смертность, которые мы и будем рассматривать.

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

$$Z = F + M, \quad (37)$$

$$\frac{dN}{dt} = -ZN, \quad (38)$$

$$\frac{dN}{dt} = -(F + M)N, \quad (39)$$

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}. \quad (40)$$

Коэффициенты общей, промысловой и естественной смертностей могут выражаться как мгновенными, так и действительными показателями: $Z, M, F; \varphi_Z, \varphi_M, \varphi_F$.

Понятно, что для коэффициента выживаемости подразделение на составляющие, связанные с естественными причинами и промыслом, не имеет смысла.

5.2. Естественная смертность

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

- 1) смертность от воздействия неблагоприятных абиотических условий;
- 2) смертность от нарушения обеспеченности пищей;
- 3) смертность от хищников, паразитов и болезней;
- 4) смертность от любых неучтенных причин – любительского рыболовства, браконьерства;
- 5) смертность от старости.

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

Непрямое воздействие осуществляется в связи с изменением абиотических условий, определяющих действие биотических факторов, например, количества корма, усиленного развития паразитов и т. п.

Смертность от нарушения обеспеченности пищей может наблюдаться в весьма редких критических случаях, так как обычно ответной реакцией большинства организмов на снижение количества пищи яв-

ляется уменьшение темпа роста. У рыб такой вид смертности наиболее характерен для личиночных стадий развития и, в особенности, в период перехода на смешанное питание.

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

- численностью, так как увеличение плотности способствует большей элиминации хищниками и более эффективной передаче болезней;
- биологическими показателями особей: чем лучше показатели (темп роста, упитанность), тем выше устойчивость;
- возрастом особей: воздействие хищников, паразитов и болезней в большинстве случаев наиболее интенсивно проявляется в определенные периоды жизни особей, в особенности на ранних стадиях развития.

Смертность от старости обуславливается наличием для каждого вида некоторой максимально возможной продолжительности жизни, однако нельзя думать, что, дожив до предельного возраста, все особи должны мгновенно погибнуть. Смертность от старости есть вероятностный процесс, которые проявляется в снижении жизнестойкости взрослых особей по мере их старения. В природных условиях до возраста, близкого к максимальному, доживает ничтожно малая доля особей, но знание его является необходимым для решения многих вопросов, связанных с динамикой популяций.

Зависимость естественной смертности от возраста особей.

Интенсивность действия всех причин, обуславливающих естественную смертность, связана с возрастом рыбы. Поэтому в промысловой ихтиологии весьма важным является исследование возрастной динамики естественной смертности и ее влияние на формирование численности популяции, ее размерную, возрастную, половую и репродуктивную структуры.

Теоретически возможны четыре варианта кривых смертности:

- 1) естественная смертность не зависит от возраста;
- 2) естественная смертность уменьшается с возрастом в результате, например, повышения устойчивости организма к воздействию неблагоприятных факторов среды и хищников;
- 3) смертность увеличивается с возрастом вследствие старения особей.

Естественная смертность не зависит от возраста. В самом простом случае можно предположить, что естественная смертность не зависит от возраста рыб: $M = \text{const}$.

Такое предположение было первоначально заложено в формальную теорию жизни рыб Ф. И. Баранова, а затем использовано многими исследователями при анализе той части популяции, которая подвергается воздействию промысла. Учитывая, что при интенсивном промысле эксплуатируется небольшой интервал возрастов, такое предположение вполне приемлемо.

В этом случае, согласно уравнению Баранова, скорость изменения численности будет описываться как

$$\frac{dN}{dt} = -MN, \quad (41)$$

и в любой момент времени численность будет определяться соотношением

$$N = -N_0 e^{-Mt}. \quad (42)$$

Логарифмируя полученное выражение

$$\ln N = \ln N_0 - Mt, \quad (43)$$

приходим к линейной зависимости логарифма численности от возраста.

Естественная смертность уменьшается с возрастом. Предположим, что естественная смертность линейно уменьшается с возрастом и описывается функцией

$$M = m_0 - m_1 t; \quad M > 0, \quad (44)$$

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

m_1 – коэффициент, определяющий скорость изменения смертности с возрастом.

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

Естественная смертность увеличивается с возрастом. В случае, когда естественная смертность увеличивается с возрастом, ее возраст-

ная динамика также может быть описана линейным уравнением, аналогичным уравнению (44), но с положительным значением коэффициента:

$$M = m_0 + m_1 t; \quad M > 0. \quad (45)$$

Такое предположение может быть справедливым, если принять, что с возрастом организм рыбы стареет и становится менее жизнестойким.

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

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

$$\frac{dN}{dt} = (\mu_1 + \mu_2 N)N. \quad (46)$$

Здесь коэффициент μ_1 представляет естественную смертность как некоторое врожденное свойство данного вида, а коэффициент μ_2 показывает эффект воздействия текущей численности запаса на величину естественной смертности.

Очевидно, что для определения зависимости величины естественной смертности от численности необходим ряд наблюдений за этими параметрами. Исследования такого направления очень сложны и ведутся в настоящее время применительно к оценке смертности молоди рыб.

5.3. Промысловая смертность

Под промысловой смертностью понимается уменьшение численности рыб под воздействием промысла.

Данный процесс может описываться несколькими способами. С одной стороны, промысловая смертность выражается через изменение численности рыб, с другой – как функция интенсивности промысла (рис. 7).

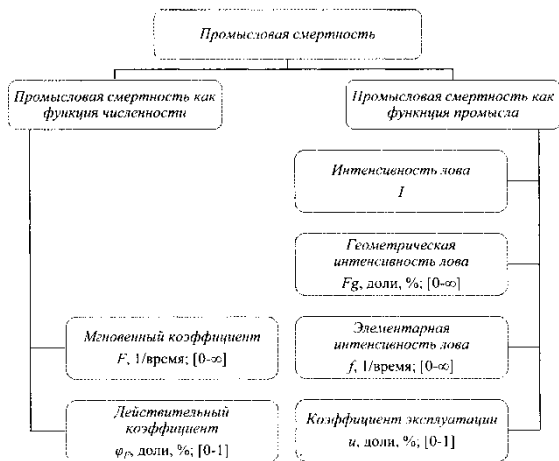


Рис. 7. Структура показателей, характеризующих промысловую смертность

Мгновенный коэффициент промысловой смертности F выступает коэффициентом пропорциональности, связывающим скорость изменения численности за элементарный промежуток времени с показателем численности в данный момент времени:

$$\frac{dN}{dt} = -FN. \quad (47)$$

Единицы измерения F – 1/время. Пределы – от нуля (когда промысел не ведется) до бесконечности, когда вся рыба мгновенно вылавливается.

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

$$\varphi_F = \frac{Y_N}{N_0}. \quad (48)$$

Единицы измерения – доли или проценты, пределы – от нуля до единицы (100 %).

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

$$N_0 = \frac{Y_N}{\varphi_F}. \quad (49)$$

Поэтому неслучайно важнейшей задачей промысловой ихтиологии является оценка промысловой смертности и сбор статистических материалов по величине вылова.

Таким образом, для оценки значений коэффициентов промысловой смертности данной группы необходимо знать численность рыб.

Интенсивность лова I – выражается в любых единицах, которые характеризуют суммарное промысловое усилие, прилагаемое для добычи рыбы, например, количество судов, рыбаков, орудий лова, количество тралений, суммарную мощность или водоизмещение флота. Более подробно описание этого параметра приведено в разделе, посвященном параметрам промысла.

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

$$f_g = \frac{st}{S_0}, \quad (50)$$

где s – площадь одного облова (за единичный промежуток времени или за один замет или траление);

t – продолжительность лова в году или количество актов облова;

S_0 – площадь водоема.

Геометрическая интенсивность лова показывает, какая часть площади водоема облавливается промыслом за определенный промежуток времени, например, год. В океаническом рыболовстве геометрическая интенсивность лова может вычисляться не через площадь, а через обловленный объем воды.

Единицы измерения – доли или проценты.

Пределы – от нуля (когда водоем вообще не облавливается) до бесконечности (когда водоем полностью обловлен множество раз). Если $f_g = 1$, то это означает, что водоем обловлен за год полностью один раз.

Элементарная интенсивность лова f – произведение геометрической интенсивности лова f_g на коэффициент уловистости орудия лова q :

$$f = qf_g. \quad (51)$$

Единицы измерения – 1/время. Пределы изменения – от нуля до бесконечности (теоретически возможно облавливать площадь водоема неограниченное число раз).

Смысл этого параметра заключается в том, чтобы показать действительную интенсивность воздействия промысла на популяцию: если площадь водоема полностью обловлена за год один раз ($f_g = 1$), но коэффициент уловистости применяемого орудия лова равен, например, 0,5, то это значит, что фактически эксплуатации подвергается лишь половина запаса.

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

$$F = f. \quad (52)$$

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

$$\frac{dN}{dt} = -FN = -qf_g N = -q \frac{st}{S_0} N. \quad (53)$$

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

Величина интенсивности вылова может быть определена через элементарную интенсивность лова как

$$u = 1 - e^{-qf_g}. \quad (54)$$

Единицы измерения – доли или проценты. Пределы – от нуля, когда промысел не ведется, до 100 %, когда выловлена вся рыба.

6. ВОСПРОИЗВОДСТВО, ПОПОЛНЕНИЕ, РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ

6.1. Воспроизводство и пополнение стада рыб

Существование популяции рыбы во времени обеспечивается за счет постоянной замены особей, погибающих по различным причинам, вновь рождающимися. С общеэкологических позиций процесс поступления в популяцию новых особей обозначается термином «рождаемость».

В экологии рождаемость может характеризоваться тремя показателями.

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

$$B = \frac{\Delta N_b}{\Delta t}, \quad (55)$$

где ΔN_b – прирост численности;

Δt – период времени.

Единицы измерения – экз., тыс. экз., млн. экз.

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

$$b = \frac{1}{N} \frac{\Delta N_b}{\Delta t}. \quad (56)$$

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

Единицы измерения – доли или проценты.

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

$$b = \frac{1}{N} \frac{\Delta N_b}{\Delta t}; dt \rightarrow 0. \quad (57)$$

Единицы измерения – время⁻¹.

По своей сути этот показатель аналогичен мгновенному коэффициенту смертности.

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

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

Экологическая рождаемость V_{fact} – обозначает пополнение популяции новыми особями при фактических или специфических условиях среды. Эта величина непостоянна и варьирует в зависимости как от внешних условий, так и от собственных параметров популяции.

В ихтиологии система характеристики рождаемости получила широкое развитие в связи с необходимостью анализа этого процесса с различных точек зрения.

Рождаемость может быть представлена через плодовитость особей, которая может относиться к уровням особи, популяции или вида, а также через показатель пополнения.

Показатель плодовитости может иметь несколько способов выражения.

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

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

$$E_w = \frac{E_a}{W}. \quad (58)$$

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

по С. А. Северцову:

$$E_{sp} = (1 + E_a)^{\frac{1}{pt_s S}}, \quad (59)$$

по Б. Г. Иоганзену:

$$E_{sp} = \sqrt[pt_s]{xE_a}. \quad (60)$$

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

$$E_p = \frac{x \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} E a_t p N_t \cdot \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} p N_t S_F}{100 \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} p N_t T}. \quad (61)$$

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

$$E_p = 1000 \cdot \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} p N_t E a_t S_F. \quad (62)$$

Таким образом, сопоставляя общеэкологический подход к характеристике рождаемости с показателями, применяемыми в ихтиологии, можно выделить следующие особенности.

1. Максимальная (физиологическая) рождаемость рыб сравнительно легко определяется с использованием стандартных биологических методов исследования. Ее аналогом выступают такие характеристики, как видовая и популяционная плодовитость.

2. Аналогом термина «экологическая рождаемость» служит показатель популяционной плодовитости, который зависит от собственных параметров популяции – возрастной структуры, соотношения численностей самок и самцов, индивидуальной плодовитости.

3. Специфическим для ихтиологии является понятие эффективности нереста, который может выражаться в различных показателях, например, в плотности кладок или концентрации пелагической икры, плотности пелагических личинок, интенсивности ската молоди и т. п. Этот показатель зависит от ряда гидрологических факторов, наличия или отсутствия достаточных площадей нерестилищ, условий инкубации икры.

Вместе с тем знание популяционной плодовитости и эффективности нереста еще не является достаточным для прогнозирования динамики численности популяции и управления ею. С момента откладки икры до вступления рыб в эксплуатацию численность поколения изменяется настолько значительно, что влияние плодовитости нивелируется действием множества других экологических факторов. В связи с этим в ихтиологии вводится специальное понятие – пополнение (*recruitment*), которое может рассматриваться с двух позиций – как чисто биологическое (классическое понимание пополнения) и как промысловое, имеющее значение для регулирования рыболовства.

В классической ихтиологии понятие пополнения связывается с процессом воспроизводства рыб. Эффективность воспроизводства зависит среди прочего от того, каким образом происходит пополнение популяции молодь, которая может участвовать в нересте. Поэтому выделяются три следующих понятия – нерестовый запас, пополнение, остаток.

В промысловой ихтиологии используется иная интерпретация понятия «пополнение».

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

1) численность поколения становится менее изменчива, в то время как с момента выклева из икры численность личинок и молоди подвержена существенным колебаниям в зависимости от комплекса абиотических и биотических факторов;

2) численность может быть оценена известными методами с достаточной степенью точности;

3) может быть спрогнозирована численность промыслового запаса после вступления в него пополнения и сделан прогноз вылова.

Биологическое пополнение охватывает гораздо больший набор возрастных групп и не имеет непосредственной связи ни с численностью запаса, ни с величиной улова, поэтому возможность использования данного показателя для анализа динамики численности популяции представляется весьма сомнительной.

Следует заметить, что зачастую классическое и промысловое понимание пополнения путаются. Так, прогнозирование уловов за счет учета мощности поколения впервые созревающих особей может привести к серьезным ошибкам. В зависимости от селективности реально промысла созревшие особи могут и не вступить в промысел, если

они имели низкий темп роста (из-за перенаселенности и ограниченной обеспеченности пищей) и не достигли необходимой длины L_c .

С другой стороны, орудия лова улавливают всех особей, достигших определенного размера, независимо от того, являются особи половозрелыми или нет. Поэтому обычно нельзя автоматически отождествлять факт наступления половозрелости с возрастом начала эксплуатации.

6.2. Рост популяции

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

$$B_W = \sum_{t=t_{min}}^{t=t_{max}} N_t W_t . \quad (63)$$

В результате изучения роста популяции предполагает: 1) знание закона изменения численности возрастных групп; 2) оценку закономерностей индивидуального роста; 3) установление возрастной динамики биомассы поколения; 4) изучение закономерностей роста всей популяции. Имея эти параметры, можно подойти к оценке продуктивности запаса.

Выделяют два показателя, характеризующие индивидуальный рост особи:

1) линейный рост dL/dt , который описывает скорость изменения длины рыбы во времени;

2) весовой рост dW/dt , определяющий изменение массы тела рыбы.

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

Между линейными и весовыми характеристиками существует четкая зависимость, которая определяется соотношением массы рыбы с ее длиной:

$$W = w_0 L^{w_1} . \quad (64)$$

Эмпирические коэффициенты w_0 и w_1 являются видоспецифичными и определяются формой тела рыбы. Так, степенной коэффициент измеряется от 2,0 у рыб с прогонистым телом до 3,2 у высокотелых и округлых рыб. Кроме того, коэффициенты зависят от ряда физиологических особенностей. Так, w_1 у самок обычно больше, чем у самцов.

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

$$W = w_0 L^3. \quad (65)$$

При этом незначительная ошибка данного уравнения по сравнению с уравнением (64) компенсируется удобством его использования. Кубическая зависимость «длина – масса» применяется в уравнении Берталянди и промысловой модели Бивертон – Холта. В данном уравнении величина $w_0 = \frac{W}{L^3}$ представляет собой коэффициент упитанности по Фультону, который широко используется в рыбохозяйственной практике.

Логарифмируя выражение (64), приходим к линейной зависимости между логарифмом массы и логарифмом длины особи (рис. 8):

$$\ln W = \ln w_0 + w_1 \ln L. \quad (66)$$

Эмпирические коэффициенты легко находятся методом наименьших квадратов и известны для большинства видов рыб.

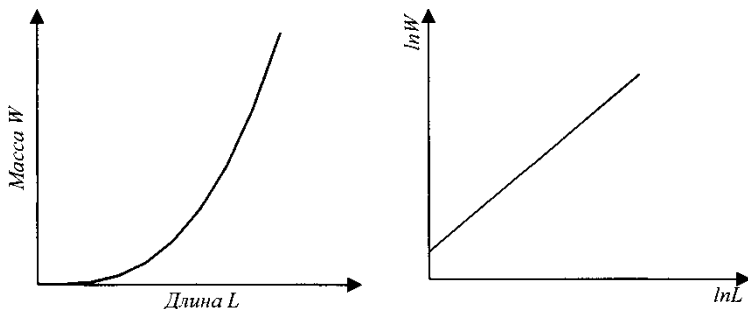


Рис. 8. Зависимость «длина – масса»

Таким образом, зная длину, можно всегда определить соответствующую ей массу особи, и наоборот. Это имеет важное значение при

проведении полевых исследований. Измерение длины рыбы является значительно менее трудоемкой операцией, чем определение массы, поэтому в ряде случаев оказывается более выгодным проводить сбор данных по длине особей (массовые промеры, биологический анализ), а затем, зная параметры уравнения (64), сделать пересчет на массу особей.

Для описания собственно роста особи можно использовать линейную, экспоненциальную, степенную и другие функции.

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

$$\frac{dL}{dt} = K_L, \quad (67)$$

$$\frac{dW}{dt} = K_W. \quad (68)$$

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

$$L_t = L_0 + K_L t, \quad (69)$$

$$W_t = W_0 + K_W t, \quad (70)$$

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

Графически рост будет представлен прямой линией с тангенсом угла наклона равным K (рис. 9).

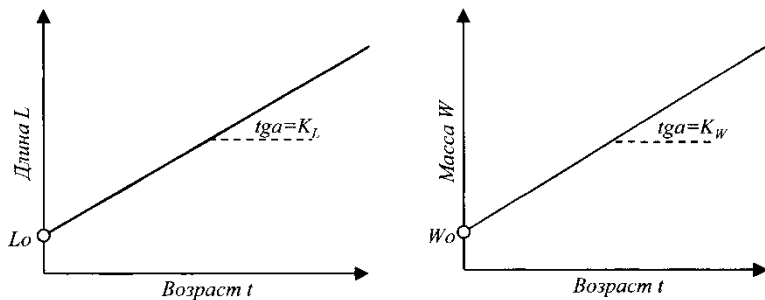


Рис. 9. Линейная функция роста особи

На практике данная функция пригодна для линейного роста, но, как правило, неприемлема для описания весового роста.

Экспоненциальная функция. Экспоненциальный закон роста исходит из предположения о том, что увеличение длины или массы рыбы происходит с некоторой постоянной скоростью G , например, прирост длины или массы составляет 10 % за некоторый промежуток времени dt :

$$\frac{dL}{dt} = G_L L, \quad (71)$$

$$\frac{dW}{dt} = G_W W. \quad (72)$$

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

$$L_t = L_0 e^{G_L t}, \quad (73)$$

$$W_t = W_0 e^{G_W t}. \quad (74)$$

Функция не имеет предела (рис. 10) и поэтому может описывать рост в течение всей жизни рыбы. Обычно данное уравнение используется для коротких промежутков времени. Например, в промысловой модели Рикера коэффициент G_w описывает скорость роста для каждой возрастной группы (можно описывать рост по месяцам, неделям или даже суткам для молоди).

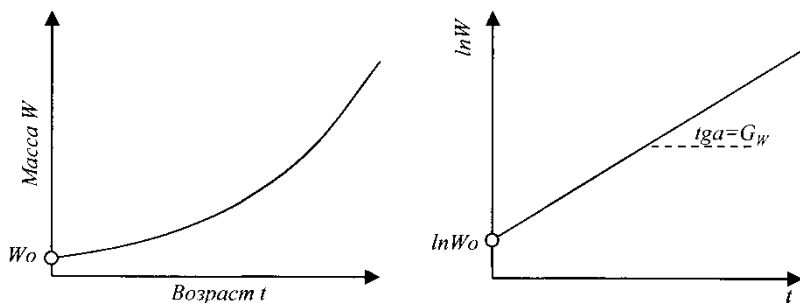


Рис. 10. Экспоненциальная функция роста особи

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

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

$$\ln W_t = \ln W_0 + G_w t. \quad (75)$$

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

$$G_{W_t} = \ln \frac{W_{t+1}}{W_t}. \quad (76)$$

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

$$\frac{dL}{dt} = (aL^{b'})L, \quad (77)$$

$$\frac{dW}{dt} = (aW^{b'})W. \quad (78)$$

Здесь скорость роста будет равна $(aL^{b'})$ и $(aW^{b'})$ соответственно для линейного и весового роста. Интегрируя уравнения (77) и (78), получаем

$$L_t = at^b, \quad (79)$$

$$W_t = at^b. \quad (80)$$

В зависимости от значения коэффициента b степенное уравнение роста будет иметь различную графическую форму. Если $b > 1$, то кривая роста будет иметь выпуклую форму (скорость роста увеличивается с возрастом), а если $b < 1$ – то вогнутую форму (скорость роста с возрастом уменьшается). Если коэффициент $b = 1$, то мы получаем линейную функцию роста (рис. 11). Для рыб, как правило, коэффициент b оказывается меньше единицы. Коэффициент a численно равен длине или массе особи в возрасте 1 год.

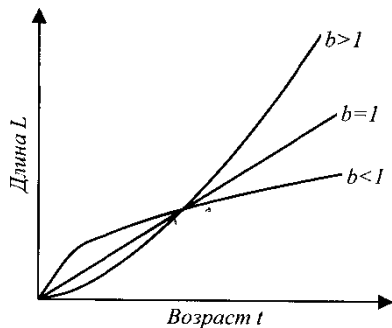


Рис. 11. Различные формы кривых параболического роста

Логарифмирование степенной функции приводит к линейной зависимости логарифма длины или массы от логарифма возраста (рис. 12).

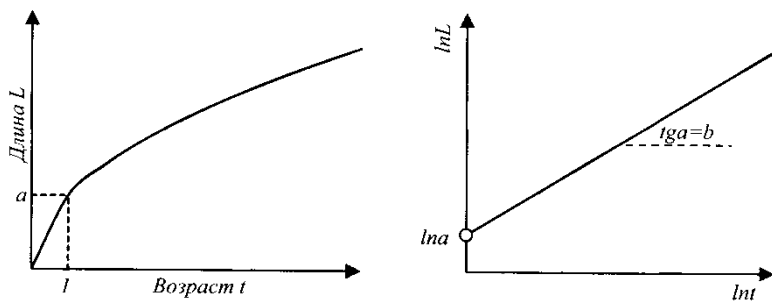


Рис. 12. Степенная функция роста особи

Логарифмическая форма уравнения используется для определения коэффициентов методом наименьших квадратов:

$$\ln L_t = \ln a + b \ln t, \quad (81)$$

$$\ln W_t = \ln a + b \ln t. \quad (82)$$

Степенное уравнение хорошо описывает эмпирические данные по длине. При описании весового роста оно применимо в меньшей степени.

Биомасса популяции (ихтиомасса). Биомасса популяции определяется двумя величинами – ее численностью в данный момент време-

ни и индивидуальными массами особей, составляющих популяцию. Опираясь на возрастную структуру, можно определить выражение биомассы как сумму биомасс возрастных групп:

$$B_W = \sum_{t=t_{min}}^{t=t_{max}} B_{W_t} \sum_{t=t_{min}}^{t=t_{max}} N_t W_t. \quad (83)$$

где M_t – численность возрастной группы t ;

W_t – средняя масса особи возрастной группы t .

В промысловой ихтиологии имеет значение не только определение общей биомассы популяции, но и ее изменений в процессе старения особей, которые описываются так называемой «кривой биомассы». Это связано со следующим обстоятельством. При выборе орудия лова для ведения промысла необходимо учитывать, какие возрастные группы оно будет облавливать в связи со своими селективными свойствами. Очевидно, что улов будет тем больше, чем больше будет биомасса облавливаемых возрастных групп. Например, на внутренних водоемах большинство обьечаивающих орудий лова имеет такой шаг ячеи, что улавливаются преимущественно средние возрастные группы, которые имеют наибольшую ихтиомассу.

Согласно формальной теории жизни рыб, скорость изменения биомассы поколения с возрастом будет определяться взаимодействием двух процессов – гибелью рыбы в результате различных причин (естественной M , промысловой F или общей смертности Z) и индивидуальным ростом особей (G). Коэффициенты Z и M могут быть специфичны для каждой возрастной группы. Тогда скорость изменения биомассы с возрастом будет определяться простым выражением:

$$\frac{dB_W}{dt} = (G_t - Z_t)B_W. \quad (84)$$

Интегрируя, получаем значение биомассы в любой момент времени (т. е. для любой возрастной группы):

$$B_{W_t} = B_{W_0} e^{(G_t - Z_t)t}. \quad (85)$$

Аналогично тому, как это делалось для оценки связи численностей двух смежных возрастных групп, нетрудно получить зависимость биомассы более старшей возрастной группы от биомассы более младшей:

$$B_{W_{t+1}} = B_{W_t} e^{(G_t - Z_t)} \text{ – для стабильной популяции, (86)}$$

$$B_{W_{x+1, t+1}} = B_{W_{x,t}} e^{(G_t - Z_t)} \text{ – для нестабильной популяции. (87)}$$

Общая закономерность возрастной динамики биомассы популяции заключается в следующем.

1. В момент рождения рыбы имеют максимальную численность, но низкую индивидуальную массу. Вследствие этого биомасса младших возрастных групп относительно невысока.

2. С увеличением возраста численность рыб уменьшается под воздействием различных причин, но одновременно происходит и их весовой рост. Эффект этого процесса может быть различен:

а) если смертность превышает скорость весового роста, то биомасса поколений будет уменьшаться по сравнению с начальной;

б) если скорость роста превосходит смертность, то биомасса поколения будет увеличиваться. Как правило, для рыб наблюдается вторая закономерность.

3. Общая закономерность изменения скорости индивидуального весового роста с возрастом заключается в его уменьшении, следовательно, рано или поздно наступит момент, когда смертность превысит скорость весового роста, и биомасса поколений начнет снижаться (рис. 13).

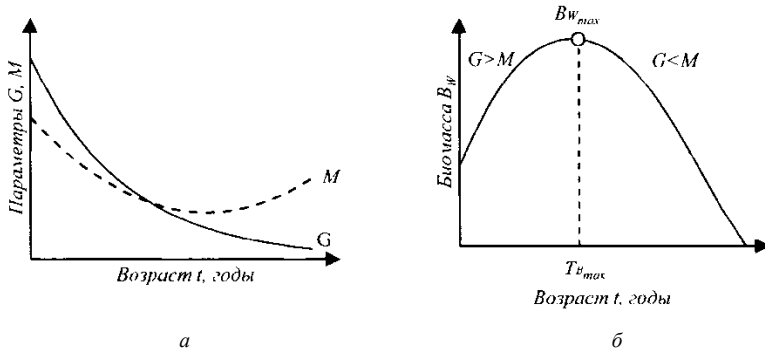


Рис. 13. Возрастная динамика коэффициентов смертности M и весового роста G (а) и кривая биомассы популяции (б)

Перегиб кривой биомасс обычно наблюдается в средних возрастах, близких к возрасту созревания t_s , но не обязательно тождественных ему.

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

Влияние промысла на кривую биомассы. В этом случае кривая биомассы будет иметь место только при определенном сочетании общей смертности и скорости роста. Изменение одного из параметров неизбежно приведет к изменению и самой кривой.

Если принять что, скорость весового роста остается постоянной во времени (что довольно часто наблюдается в реальных условиях), и проанализируем воздействие на биомассу величины общей смертности. Очевидно, что общая смертность может претерпевать существенные вариации в результате изменения одной из ее составляющих – промысловой смертности (рис. 14).

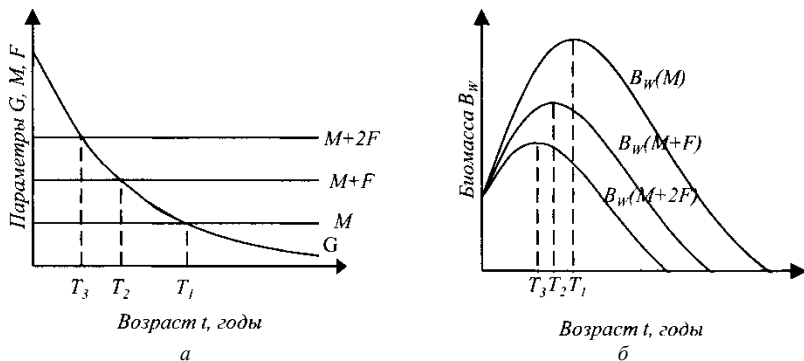


Рис. 14. Соотношение кривых роста и смертности (а) и кривые биомассы (б) при различных значениях промысловой смертности

С возрастанием интенсивности промысла происходит изменение соотношения между M и G таким образом, что точка равенства этих коэффициентов смещается в сторону младших возрастов.

В результате изменяется возраст, на который приходится максимум биомассы, так называемый «возраст кульминации ихтиомассы» $T_{B_{\max}}$. Одновременно при увеличении интенсивности промысла наблюдается уменьшение абсолютной величины биомассы всей популяции.

П. В. Тюрин (1963), а вслед за ним и ряд других авторов предлагали оценивать оптимальный возраст начала эксплуатации рыб исходя из возраста кульминации ихтиомассы. Возраст кульминации сам является функцией интенсивности промысла и поэтому не может служить критерием оптимальности.

6.3. Продуктивность популяции

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

Продуктивность – способность популяции формировать биологическую продукцию.

Продукция подразделяется на два типа: чистую P_R и валовую P_{Tot} .

Чистая продукция. Чистая (реальная) P_R – это та продукция (прирост биомассы), которая остается в водоеме после отправления всех функций жизнедеятельности популяции. Чистая продукция может быть

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

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

$$P_{R_{x,t}} = B_{W_{x+1,t+1}} - B_{W_{x,t}} = B_{W_{x,t}} e^{G_t - Z_t} - B_{W_{x,t}}, \quad (94)$$

$$P_{R_{x,t}} = B_{W_{x,t}} (e^{G_t - Z_t} - 1). \quad (95)$$

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

$$P_{Tot} = P_R + P_M + P_F, \quad (96)$$

или

$$P_{Tot} = P_R + P_E. \quad (97)$$

где P_E – элиминированная продукция.

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

Определение валовой продукции. Известны численность возрастной группы ($N_{x,t}$), средняя масса особи ($W_{x,t}$) в году x и скорости изменения этих параметров – мгновенный коэффициент общей смертности (Z_t) и скорость индивидуального весового роста (G_t):

$$N_{x+1,t+1} = N_{x,t} e^{-Z_t}, \quad (98)$$

$$W_{x+1,t+1} = W_{x,t} e^{G_t}, \quad (99)$$

$$B_{W_{x+1,t+1}} = B_{W_{x,t}} e^{G_t - Z_t}. \quad (100)$$

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

$$\frac{dP_{Tot}}{dt} = G_t B_{W_{x,t}} e^{(G_t - Z_t)t}. \quad (101)$$

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

$$\int_{t=0}^{t=1} dP_{Tot} = \int_{t=0}^{t=1} G_t B_{W_x, t} e^{(G_t - Z_t)t} dt, \quad (102)$$

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

$$P_{Tot_{x, t}} = B_{W_x, t} \frac{G_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t - Z_t)} - 1). \quad (103)$$

Продукция всей популяции будет рассчитываться аналогично уравнению (90).

Изменение продуктивности популяции в процессе роста. В промысловой ихтиологии логистическая кривая роста популяции обычно связывается с именем норвежского ученого Й. Хьорта (1933), который сформулировал следующие закономерности, определяющие рост популяции и ее продуктивность (рис. 15):

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

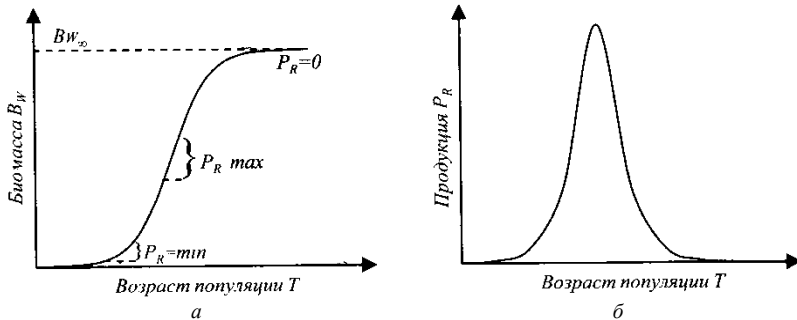


Рис. 15. «Кривая Йорта» (а) и изменение продукции (б) в процессе роста популяции

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

3) величина годового прироста стада (P) определяется разностью

между величинами численности или биомассы популяции в два смежных периода:

- продукция оказывается небольшой в начальный период существования популяции, так как, несмотря на то, что скорость весового роста велика, фактическая численность запаса относительно невысока;

- продукция максимальна при средней численности популяции (в точке перегиба);

- продукция равна нулю в зоне максимальной биомассы.

В действительности процесс формирования продукции имеет достаточно сложный характер и зависит от параметров роста конкретной популяции (рис. 16). Увеличение биомассы популяции на начальном этапе приводит к возрастанию общей и реальной продукции. Затем, после достижения точки перегиба на кривой роста, общая продукция продолжает расти, но реальная продукция уменьшается, следовательно, увеличивается та часть продукции, которая утилизируется внутри самой системы. В конце концов, валовая продукция достигает максимума, а реальная продукция стремится к нулю.

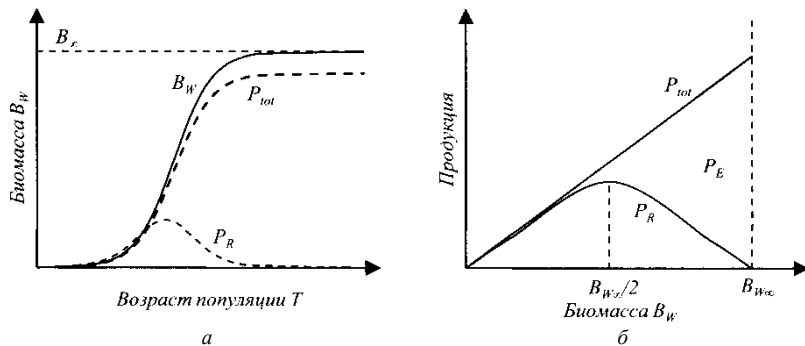


Рис. 16. Соотношение между различными видами продукции в зависимости от возраста (а) и достигнутой биомассы (б) популяции

Теоретически, согласно уравнению логистического роста, кривая зависимости реальной продукции от биомассы популяции (рис. 16, б) должна описываться симметричной параболой с максимумом в ке $\frac{B_{W\infty}}{2}$. Однако при анализе числовых значений максимум может быть растянут на несколько лет.

Таким образом, продукция есть собственное свойство популяции, которое в то же время зависит от действия внешних факторов. Промы-

сел, тем или иным способом изменяя биомассу популяции, оказывает воздействие и на ее продуктивность. Можно подобрать такие параметры промысла, чтобы привести популяцию в состояние $\frac{B_{W\infty}}{2}$, соответствующее максимальной чистой продукции.

Соотношение между величиной продукции и уловом. Представление о том, что промысел в определенной степени формирует продуктивность популяции, послужило основой для введения понятия «**уравновешенный улов**»: Y_s – улов, соответствующий величине годовой продукции популяции.

Это понятие было введено М. Шефером (Schaefer, 1957) для оценки степени оптимальности промысла.

Попытаемся проверить, каково соотношение между величиной продукции популяции и уловом. Для этого проанализируем изменение реальной (P_R) и промысловой (P_F) продукции популяции в процессе ее роста. Примем, что промысловая смертность F выступает как тормозящий эффект и снижает скорость роста популяции, которая в результате станет равной $(r - F)$.

$$B_W = \frac{B_{W\infty}}{1 + e^{-(r-F)(T-T_0)}}, \quad (104)$$

где F – скорость изъятия рыб промыслом.

Численно промысловая продукция будет равна величине годового улова (Y_w), которая может быть рассчитана по известным формулам.

Результаты расчетов продукции для четырех вариантов промысловой смертности ($F = 0; 0,5; 1,0; 1,2$) приведены на рис. 17. Как видно, величина чистой продукции зависит от интенсивности промысла и находится в сложной связи с промысловой продуктивностью:

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

В ихтиологической литературе достаточно часто высказывается мнение о том, что величина оптимального улова должна соответствовать годовой продукции популяции. Приведенный анализ показывает, что данное утверждение не соответствует действительности: чистая продукция, оцененная для девственной популяции (при $F = 0$), не мо-

жет быть ориентиром для достижения оптимального промысла, так как ее величина сама зависит от интенсивности рыболовства. Увеличение интенсивности промысла приводит к перераспределению между чистой и промысловой продукциями: чистая продукция уменьшается, а промысловая увеличивается.

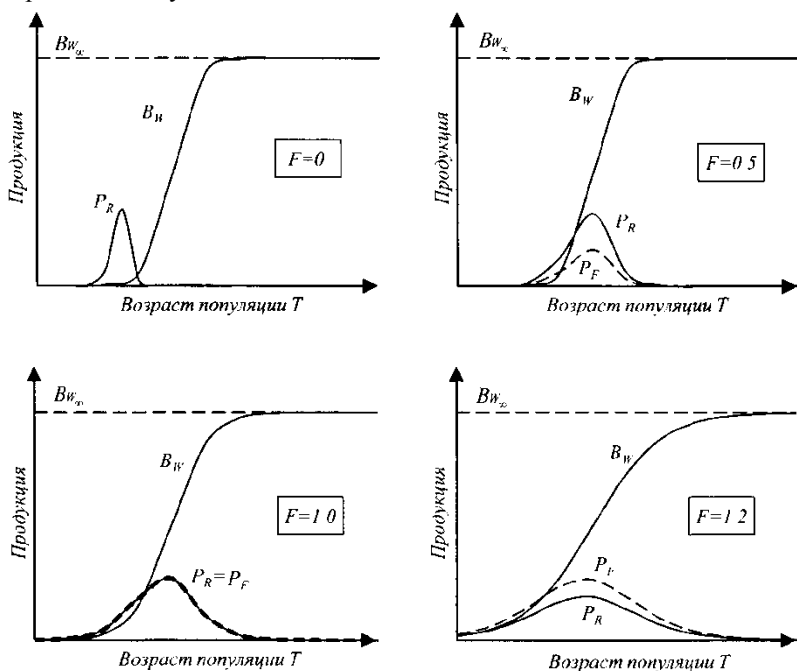


Рис. 17. Изменение соотношения между чистой и промысловой продукцией в процессе роста популяции при различной интенсивности промысла

Понятие «уравновешенный» говорит о равновесии системы «запас – промысел», но не о равенстве продукции и улова.

7. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ МОДЕЛИ

7.1. Модель Ф. И. Баранова

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

Исторически первой была разработана модель Ф. И. Баранова (1918), в которой он на основании анализа имевшихся эмпирических данных по североморской камбале выдвинул следующие исходные посылы построения модели.

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

$$M_t = \text{const}, \quad (105)$$

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

$$F_t = \text{const}, \quad (106)$$

3. Рост рыб происходит по линейному закону, т. е. за единичный интервал времени (например, за один год) рыба прирастает на одну и ту же величину (например, на 5 см):

$$L_t = at, \quad (107)$$

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

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

$$W = w_0 L^3, \quad (108)$$

где w_0 – видоспецифичный коэффициент.

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

$$N_L = N_0 e^{-ZL}, \quad (109)$$

а изменения биомассы каждой размерной группы будут описываться уравнением

$$B_L = N_0 e^{-ZL} w_0 L^3. \quad (110)$$

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

$$\frac{dY_W}{dL} = F B_L. \quad (111)$$

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

Подставляя формулу (110) в формулу (111), получим

$$\frac{dY_W}{dL} = F N_0 e^{-ZL} w_0 L^3. \quad (112)$$

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

$$\int_{L_c}^{\infty} dY_W = \int_{L_c}^{\infty} F N_0 e^{-ZL} w_0 L^3 dL, \quad (113)$$

$$Y_W = \frac{F N_0 e^{-ZL} w_0 L_c^3}{Z} \left[1 + \frac{3}{Z L_c} + \frac{6}{(Z L_c)^2} + \frac{6}{(Z L_c)^3} \right]. \quad (114)$$

На основании этого уравнения Ф. И. Баранов исследовал влияние величины естественной и промысловой смертности на улов и биомассу популяции. Он показал наличие максимума на кривой улова при определенном соотношении M и F .

Основными недостатками модели Баранова являются:

1. Упрощенное представление темпа роста рыб как линейной функции возраста и кубической зависимости «длина – масса»;
2. Рассматривался только один параметр промысла – его интенсивность, влияние же селективности орудий лова не анализировалось.

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

7.2. Модель У. Е. Рикера

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

$$\frac{dy}{dt} = ky, \quad (115)$$

где k – скорость изменения параметра, то значение y в любой момент времени можно найти с помощью простого уравнения:

$$y = y_0 e^{kt}. \quad (116)$$

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

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

Численность:

$$\frac{dN}{dt} = -Z_t N, \quad (117)$$

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z_t}. \quad (118)$$

Индивидуальная масса особей:

$$\frac{dW}{dt} = GW, \quad (119)$$

$$W_{t+1} = W_t e^{G_t}. \quad (120)$$

Биомасса возрастной группы:

$$\frac{dB_W}{dt} = (G - Z)B_W, \quad (121)$$

$$B_{W_{t+1}} = B_{W_t} e^{G_t - Z_t}. \quad (122)$$

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

Рассмотрим математическое выражение основных параметров эксплуатируемой популяции.

1. Улов в поштучном выражении:

а) для возрастной группы t

$$Y_{N_t} = N_t \frac{F_t}{F_t + M_t} (1 - e^{-(F_t + M_t)}); \quad (123)$$

б) для всей популяции:

$$Y_N = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} Y_{N_t}. \quad (124)$$

2. Улов в весовом выражении:

а) для возрастной группы t

$$Y_{W_t} = N_t W_t \frac{F_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t + Z_t)} - 1); \quad (125)$$

б) для всей популяции:

$$Y_W = \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} Y_{W_t}. \quad (126)$$

3. Среднегодовая численность популяции:

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

а) для интервала возрастов $t_r \leq t < t_c$

$$B_{N_t} = N_t \frac{(1 - e^{-(M_t)})}{M_t}; \quad (127)$$

б) для интервала возрастов $t_c \leq t < t_\lambda$

$$B_{N_t} = N_t \frac{(1 - e^{-(F_t + M_t)})}{F_t + M_t}; \quad (128)$$

в) для всей популяции

$$B_N = \sum_{t=t_r}^{t=t_c} B_{N_t} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} B_{N_t}. \quad (129)$$

4. Среднегодовая биомасса популяции:

а) для интервала возрастов $t_r \leq t < t_c$

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

б) для интервала возрастов $t_c \leq t < t_\lambda$

$$B_{W_t} = N_t W_t \frac{(e^{(G_t - Z_t)} - 1)}{G_t - Z_t}; \quad (131)$$

в) для всей популяции

$$B_W = \sum_{t=t_r}^{t=t_c} B_{W_t} + \sum_{t=t_c}^{t=t_\lambda} B_{W_t}. \quad (132)$$

5. Средняя навеска особи в улове:

$$W_Y = \frac{Y_W}{Y_N}. \quad (133)$$

6. Средняя навеска особи в популяции:

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

Используя данный подход, можно определить и все остальные параметры, необходимые для анализа промысловой популяции, – численность и биомассу нерестового запаса, а также популяционную плодovitость:

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

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

$$E_p = \sum_{t=t_s}^{t=t_\lambda} N_t W_t E_{W_t} . \quad (137)$$

Преимущества модели Рикера:

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

Недостатки модели Рикера:

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

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

7.3. Развитие аналитических моделей

Основным недостатком аналитических моделей является значительное упрощение представления основных популяционных параметров, поэтому развитие моделей шло в направлении уточнения фор-

мального описания входящих параметров. К числу таких уточнений можно отнести следующие.

1. Представление связи «масса – длина» в виде аллометрической зависимости

$$W = w_0 L^{W_1}, \quad (138)$$

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

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]^{w_1}. \quad (139)$$

Подставляя данное выражение в уравнение улова модели Бивертонна – Холта, получаем зависимость, которая не интегрируется, и для нахождения величины улова используют методы приближенных вычислений.

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

$$G_t = \frac{a}{1 + e^{(bB_w - 1)}}. \quad (140)$$

Однако оценка коэффициентов уравнения вызывает существенные затруднения.

3. Использование дифференцированного по возрастам коэффициента естественной смертности, например, по методу Бивертонна – Холта:

$$M = m_0 + m_1 t, \quad (141)$$

или применение степенной зависимости

$$M = a + bt^x. \quad (142)$$

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

8. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫБОЛОВСТВА

8.1. Общие положения

Закономерности динамики системы «запас – промысел» свидетельствуют о том, что неконтролируемый промысел переходит в фазу экономического перелома, а в более худшем варианте и к перелому биологическому, который может иметь необратимый характер. Следовательно, обеспечение рационального рыболовства невозможно без применения соответствующих мер регулирования, направленных на поддержание системы «запас – промысел» на некотором оптимальном уровне. Теоретически оптимальное состояние может быть легко достигнуто путем регламентирования величины интенсивности лова F_{opt} и соответствующего ей возраста первой поимки t_c . Обе эти промысловые характеристики могут изменяться человеком, но определяются они биологическими параметрами эксплуатируемой популяции. Вместе с тем история развития методов регулирования рыболовства свидетельствует о том, что выбор мер регулирования был не всегда однозначен и базировался на различных теоретических представлениях, зачастую противоречащих друг другу. Кроме того, реализация на практике тех или иных теоретических подходов во многих случаях наталкивалась на технические, материальные, биологические и социальные ограничения, а также сложность контроля. В результате к настоящему времени сформировался набор основных мер регулирования, которые учитывают различные аспекты управления рыболовством и в зависимости от конкретной ситуации имеют различный приоритет.

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

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

Регулирование рыболовства – система мер, устанавливающих по-

рядок изъятия определенной доли промыслового запаса рыб таким образом, чтобы обеспечить получение оптимального улова. Предполагается, что в понятии «оптимальный улов» автоматические учтены интересы экономики и биологической безопасности.

На международном уровне понятие «рыболовная политика» является наиболее общим и служит основой для выработки частных решений по принятию тех или иных мер управления промыслом. Например, существует общая рыболовная политика (*Common Fisheries Policy – CFP*), которая реализуется всеми странами ЕС.

Общая рыболовная политика охватывает четыре уровня, а именно:

- охрану и разумное использование рыболовных ресурсов для сохранения рыбных запасов;
- организацию рыночной торговли с целью обеспечения соответствия спроса и предложения в интересах производителя и потребителя;
- структурно-политические меры по поддержке сфер рыболовства и аквакультуры при адаптации их оснащения и форм организации к требованиям, возникающим в результате истощения ресурсов и конъюнктуры рынка; в этой области поддержка ЕС реализуется в основном в виде финансирования рыболовческого оснащения;
- взаимодействие с третьими странами и международными организациями для заключения торговых сделок в области рыболовства на международном уровне; меры ЕС по сохранению запасов морского и океанического рыболовства.

Прежде чем переходить к анализу современной системы регулирования рыболовства, следует кратко остановиться на основных теоретических посылах, которые закладывались в ее основу.

8.2. Основные подходы к регулированию рыболовства

Подход К. М. Бэра. Исследуя причины упадка рыболовства в водоемах России, К. М. Бэр (1853) сформулировал следующий принцип регулирования рыболовства: промысел должен вестись таким образом, чтобы оставить возможность каждой рыбе хотя бы один раз отнереститься. С этой целью необходимо ограничить вылов неполовозрелых особей, например, путем введения промысловой меры на рыбу.

В свете рассмотренных закономерностей влияния рыболовства на промысловое стадо можно сказать, что такой подход является односторонним. Он предполагает регулирование только одного из параметров промысла – возраста первой поимки t_c , но никак не регламентиру-

ет другую его характеристику – интенсивность лова. Следовательно, такое регулирование может быть оптимальным лишь в каком-то частном случае, для вполне определенной интенсивности промысла F .

Подход П. В. Тюрин. П. В. Тюрин (1953) принял, что динамика численности популяции генетически «запрограммирована» и определяется генетически и экологически обусловленным значением коэффициента естественной смертности. Популяция приспособилась к условиям среды таким образом, что она будет нормально функционировать в том случае, когда ее общая смертность не превышает удвоенного коэффициента естественной смертности ($Z \leq 2M$). Исходя из этого, Тюрин предположил, что максимально допустимая интенсивность эксплуатации популяции должна быть равна коэффициенту естественной смертности ($F = M$).

Как видно, здесь, в отличие от подхода К. М. Бэра, во внимание принимается другой параметр – интенсивность промысла F , зато полностью игнорируется сопутствующая ей селективность t_c . Следовательно, такой подход к регулированию рыболовства может быть приемлем только для некоторого частного случая при заданной селективности промысла.

П. В. Тюрин пытался также решить задачу выбора оптимальной селективности и предложил в качестве одного из критериев использовать возраст кульминации ихтиомассы, полагая, что возраст первой поимки должен ему соответствовать: $t_c = T_{B_{\max}}$. Однако возраст, на который приходится максимальная биомасса, сам зависит от интенсивности промысла и не может использоваться для определения оптимального возраста первой поимки t_c .

Подход Г. В. Никольского. Г. В. Никольский (1965) выдвинул концепцию саморегуляции, согласно которой эксплуатируемая популяция может активно противостоять действию промысла, изменяя свои биологические параметры, например, увеличивая плодовитость, темп роста и т. п. Следовательно, если подобрать некоторые «оптимальные» параметры промысла, которые не превышают регуляторные способности популяции, то рыболовство не будет оказывать на нее никакого влияния.

Данная концепция до сих пор имеет своих сторонников, которые рациональным считают только такой промысел, который не изменяет популяцию по сравнению с ее девственным состоянием. К сожалению, ни сам Г. В. Никольский, ни его последователи так и не смогли предложить методики оценки этих «оптимальных» параметров промысла.

Однако проведя детальный анализ можно прийти к выводу, что любой промысел, даже самый рациональный, приводит к закономерным изменениям в структуре популяции, снижению ее численности и биомассы.

Подход Ф. И. Баранова. На основании анализа разработанной им модели Ф. И. Баранов (1914, 1918) впервые показал, что под воздействием промысла происходят закономерные изменения популяционных параметров, которые заключаются в уменьшении величины запаса и омоложении популяции. Избежать этих изменений при наличии промысла невозможно. Одновременно интенсификация промысла приводит к возрастанию улова и относительному снижению экономической эффективности промысла. Рыбы имеют очень высокую плодовитость, поэтому даже при снижении величины запаса пополнение всегда будет достаточным. Следовательно, по Ф. И. Баранову экономический перелов наступает гораздо раньше биологического и регулирование рыболовства должно оперировать в большей степени экономическими, а не биологическими категориями.

Этот вывод на протяжении длительного времени подвергался критике большинством ихтиологов: отвергался сам принцип анализа влияния промысла на динамику популяции и возможности управления запасом через регулирование рыболовства. Вместе с тем, как было показано выше, вопреки мнению Ф. И. Баранова, биологический перелов действительно имеет место, и соображения экономической целесообразности автоматически не могут его предотвратить.

8.3. Современные меры регулирования рыболовства

В настоящее время наиболее широко применяются следующие мероприятия по регулированию рыболовства:

- 1) лимитирование уловов;
- 2) ограничение промыслового усилия – числа рыбаков, судов, сетей, тралов, суммарной мощности флота;
- 3) регламентирование типов судов;
- 4) разрешение или запрет на использование определенных орудий лова и (или) регламентирование их конструктивных особенностей;
- 5) установление промысловой меры на рыбу;
- 6) установление минимального размера ячеи;
- 7) нормы прилова маломерной рыбы;
- 8) установление нормы прилова сопутствующих видов;

- 9) регламентирование способов лова;
- 10) регламентирование сроков лова;
- 11) регламентирование мест лова.

Рассмотрим биологический смысл применяемых мер регулирования с точки зрения достижения оптимального улова Y_{Wopt} , через регламентирование интенсивности F и селективности промысла t_c .

Лимитирование уловов Y_{Wlim} . Ограничение объема водного биологического ресурса, разрешенного к добыче, является базовой мерой регулирования мирового рыболовства и представляет собой косвенный способ регламентирования интенсивности промысла. Учитывая, что величина улова прямо пропорциональна биомассе популяции

$$Y_{Wlim} = F_{lim} B_W, \quad (143)$$

с точки зрения оптимизации промысла совершенно безразлично, какой из параметров использовать – допустимый объем вылова Y_{Wlim} или допустимую интенсивность промысла.

Как правило, в рыболовстве лимитирование уловов осуществляется с использованием четырех показателей: общий допустимый улов, квота, доля, возможный вылов.

1. **Общий допустимый улов – ОДУ (*Total Allowable Catch – TAC*)** – научно обоснованная величина годовой добычи (вылова) конкретных видов водных биоресурсов (единиц запаса) в рыбохозяйственном бассейне или районе промысла. ОДУ определяется исходя из текущего и прогнозируемого состояния запаса.

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

Выделяются следующие виды рыболовства и соответствующие виды квот:

- 1) промышленное рыболовство;
- 2) рыболовство в научно-исследовательских и контрольных целях;
- 3) рыболовство в учебных и культурно-просветительских целях;
- 4) рыболовство в целях аквакультуры (рыбоводства);
- 5) любительское и спортивное рыболовство;
- 6) рыболовство в целях обеспечения ведения традиционного образа жизни и осуществления традиционной хозяйственной деятельности.

3. **Доля (процент)** – часть общего объема промышленной квоты, закрепленная за конкретным пользователем. В настоящее время доля

рассчитывается по историческому принципу как средний за последние пять лет процент улова каждого пользователя по отношению к общему улову и закрепляется за пользователем водных биоресурсов на следующие десять лет. В результате, как бы не изменялась величина ОДУ и квоты из-за естественной флюктуации запаса, пользователь всегда будет обеспечен определенной долей общей квоты. Таким образом, доля призвана обеспечить стабильность рыболовства.

Практическая реализация лимитирования уловов имеет преимущества и недостатки.

Преимущества:

- 1) лимит является объективным показателем, зависящим от состояния эксплуатируемой популяции рыбы B_W ;
- 2) лимитирование улова позволяет очень точно ограничить влияние промысла на популяцию независимо от используемых орудий и способов лова, сроков и мест ведения промысла.

Недостатки:

1) расчет лимита требует наличия данных об абсолютной численности и биомассе запаса, получение которых связано с необходимостью проведения дорогостоящих ихтиологических исследований. В связи с тем, что запас находится в динамике, такие исследования должны проводиться ежегодно. Кроме того, ошибка оценки запаса может достигать десятков процентов, что, соответственно, обуславливает и такую же ошибку ОДУ;

2) необходим постоянный учет объема выловленной рыбы, чтобы не допустить превышения ОДУ. Сбор промысловой статистики может давать погрешность, что влечет за собой не всегда эффективное регулирование рыболовства;

3) стихийное развитие промысла приводит к тому, что при относительно постоянной величине лимита интенсивность лова обычно имеет тенденцию к увеличению, например, за счет приобретения навыков рыбаками, повышения качества и уловистости рыболовных орудий, эффективности промысловых механизмов и судов. В результате вылов оказывается значительно большим, чем установленный лимит, но по причинам социального и экономического характера быстро сократить промысловое усилие не представляется возможным. Поэтому только лимитирование уловов без применения других мер не может быть достаточным для эффективного управления рыболовством.

4. Возможный вылов (ВВ) – это значение допустимого вылова, тождественного по величине ОДУ и рассчитываемого по тем же

методикам. Отличие заключается в способе реализации возможного вылова.

Реализация ОДУ заключается в следующем. Из общего объема ОДУ выделяется промышленная квота, которая распределяется между пользователями пропорционально их долям. Каждый пользователь может организовать промысел для освоения своей доли любым законным способом в течение года. Никто другой освоить эту квоту не может.

Ограничение промыслового усилия f_{lim} . Непосредственное ограничение промыслового усилия может достигаться путем установления предельного количества задействованных на промысле рыбаков, тех или иных типов орудий лова, судов, лимитирования суммарной или индивидуальной мощности или водоизмещения промыслового флота. В конечном итоге все это обеспечивает установление некоторого предела промысловой смертности на уровне, соответствующем оптимальному. Предполагается, что между показателями промыслового усилия и промысловой смертности существует прямая связь:

$$f_{\text{lim}} = qF_{\text{opt}}, \quad (144)$$

где q – коэффициент пропорциональности.

Преимущества такого подхода:

1) необходимое промысловое усилие может быть точно рассчитано, легко регламентируется (например, путем выдачи разрешений на лов или рыболовных билетов) и контролируется в отличие от лимита вылова;

2) отпадает необходимость в ежегодной оценке состояния запаса, так как если установлена оптимальная величина промысловой смертности, то на протяжении достаточно длительного времени она будет одной и той же (например, постоянная численность рыбаков на данном водоеме). Величина улова при этом будет колебаться в тех же пределах, что и сам запас.

Недостатки:

1) коэффициент пропорциональности q в уравнении (144) характеризует некоторое среднее соотношение между величиной промыслового усилия и интенсивностью лова. В реальности при благоприятных погодных условиях и гидрологической ситуации могут сформироваться очень плотные концентрации рыбы в районах ведения лова. В результате промысловое усилие, соответствующее установленной норме,

даст величину улова гораздо большую, чем это предполагалось: вылов превысит биологически обоснованный лимит. Может иметь место и обратная ситуация;

2) система регулирования рыболовства только за счет промыслового усилия неприменима к популяциям со значительными колебаниями урожайности. В случае вступления в промысел высокоурожайного поколения возможно в течение нескольких лет получение более высокой величины улова за счет интенсификации промысла. В противном случае рыбы просто погибнут по естественным причинам. И наоборот, низкая урожайность пополнения может потребовать снижения интенсивности промысла с целью восстановления запаса до оптимального уровня;

3) в условиях многовидового промысла управление промысловым усилием существенно затруднено, так как видовой состав уловов определяется селективностью орудий лова, которая может быть существенно различной для тех или иных объектов промысла. В результате объем вылова каждого вида рыбы не будет соответствовать оптимальному. Даже если использовать активное отцеживающее орудие лова, которое отлавливает все виды промысловых рыб пропорционально их численности, то и в этом случае для каждого вида должна быть своя оптимальная величина промыслового усилия, определяемая биологическими параметрами – темпом роста и естественной смертностью;

4) использование комплекса орудий лова, обладающих различной видовой селективностью и применяемых в различных районах и в разные сроки, также накладывает существенные ограничения на возможность регулирования рыболовства через промысловое усилие.

Таким образом, лимитирование уловов и ограничение промыслового усилия могут рассматриваться как меры регулирования рыболовства, которые не исключают, а взаимодополняют друг друга.

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

1. Запрещение определенных типов орудий лова может быть связано с попыткой ограничения интенсивности промысла. Например, в период после Второй мировой войны на внутренних водоемах России быстрое развитие получил траловый промысел, который в течение нескольких лет позволял снабжать население рыбой. Однако сверхинтенсивный лов повлек за собой резкое, хотя и закономерное снижение

запасов и падение эффективности лова. Вывод из этого был сделан совершенно неадекватный – вместо простого снижения интенсивности (сокращения количества судов до оптимального) было признано, что траловый лов является вредным вообще, и он был запрещен на внутренних водоемах в течение 30 лет. Лишь в начале 1980-х годов этот промысел опять начал возрождаться.

В действительности, независимо от того, каким орудием ведется промысел, если не превышена установленная величина допустимой интенсивности лова или лимит вылова, он не нарушает стабильности эксплуатируемой популяции. Таким образом, с точки зрения регламентирования промыслового усилия запрещение определенных типов орудий лова не имеет биологического обоснования.

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

3. Регламентирование типов разрешенных орудий лова может служить решением задачи оптимизации промысла целевых видов и снижению прилова сопутствующих.

Установление минимального размера добываемых водных биоресурсов (промысловой меры на рыбу) L_c . Установление промысловой меры на рыбу L_c является прямым способом регламентирования возраста первой поимки t_c на уровне, соответствующем получению оптимального улова. Ограничение промысла особей, не достигших промысловой меры, может достигаться двумя путями:

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

2) запретом на выгрузку и реализацию рыбы, не соответствующей установленной промысловой мере (*minimum landing size*).

Согласно рассмотренному выше подходу к оценке оптимального улова, промысловая мера на рыбу должна устанавливаться с учетом той интенсивности промысла, которая существует для данной популяции. К сожалению, на практике до сих пор используется подход К. М. Бэра, когда промысловая мера на рыбу подбирается так, чтобы обеспечить каждой особи возможность хотя бы однократного нереста. Например, на внутренних водоемах Беларуси промысловая мера на

щуку составляет 40 см, что соответствует в среднем возрасту созревания этого вида.

Недостатки установления промысловой меры на рыбу:

1) трудность обеспечения: сразу после проведения облова необходимо отсортировать «немерных» особей и выпустить их в водоем в живом виде. При большом объеме улова это сделать практически невозможно. Кроме того, одно и то же орудие лова в связи со свойственной ему видовой и размерной селективностью может обеспечивать соблюдение промысловой меры для одних видов и не обеспечивать для других.

В связи с этим промысловая мера обычно используется в совокупности с другими, а именно с регламентированием типов и конструкций орудий лова и установлением минимального разрешенного шага ячеи;

2) потеря части продукции: рыбаки вынуждены выбрасывать в водоем пойманных погибших особей, не достигших промысловых размеров. Объем выбросов для некоторых видов промысла может быть значительным.

В связи с реализацией экосистемного подхода к рыболовству (EAF) встает вопрос о негативном воздействии выбросов на экосистему водоема. В ряде стран вводится запрет на выбросы, все изъятые из воды водные биоресурсы должны быть учтены в общей квоте, выгружены и реализованы. Данное требование носит название «требование по выгрузке» (*landing obligation*).

Установление минимального шага ячеи a_{\min} . Установление минимального разрешенного шага ячеи в орудиях лова является прямым способом регламентирования оптимального возраста первой поимки t_c . Зная оптимальный возраст начала эксплуатации, зависимость между длиной и возрастом рыбы (кривую индивидуального роста) и зависимость между шагом ячеи и длиной ловимой рыбы, оптимальный шаг ячеи может быть сравнительно просто рассчитан.

Преимущества такого подхода:

1) относительная легкость регламентирования и контроля. Разрешенный минимальный шаг ячеи указывается в разрешениях, выдаваемых пользователям водных биоресурсов, и периодически проверяется инспекторами на промысле;

2) возможность подбора орудий лова по их селективным свойствам. Например, отецживающие и обьячеивающие орудия лова при одном и том же шаге ячеи имеют различную форму огивы селективности и обеспечивают различную длину 50 %-ной поимки, что может быть учтено при организации рационального рыболовства.

Недостатки:

1) из-за неравномерности шага ячеи, износа орудий лова и изменения их формы возможно смещение фактического возраста первой поимки в меньшую сторону по сравнению с расчетным. В результате изменяется форма огивы селективности и объем вылова рыб, не достигших промысловой меры;

2) неравномерное распределение рыб различных возрастов в водоеме приводит при одном и том же шаге ячеи к смещению возраста первой поимки в большую или меньшую сторону в зависимости от того, в каком районе ведется промысел – в местах концентрации молоди или старых рыб. В первом случае возможно нарушение стабильности запаса, во втором – снижение экономической эффективности лова.

Установление нормы прилова маломерной рыбы. Количество или масса особей, имеющих длину меньше разрешенной L_c по отношению к общему улову, обозначается термином «прилов молоди» или «прилов немерной рыбы». Он может выражаться в процентах по численности $pY_{N_{L_c}}$ или в процентах по массе $pY_{W_{L_c}}$ от всего улова данного вида рыбы.

Величина прилова зависит от селективных свойств орудия лова. Обычно ячея подбирается таким образом, чтобы коэффициент селективности при длине L_c был равен 0,5. Это позволяет рассчитать возможный процент прилова по кривой улова (см. рис. 18). Учитывая, что огива селективности может быть достаточно просто установлена для каждого орудия лова с заданной ячеей, таким же образом можно рассчитать и возможную величину прилова. С другой стороны, если известна биологически допустимая норма прилова, то можно подобрать такой тип орудия лова, который обеспечит ее соблюдение.

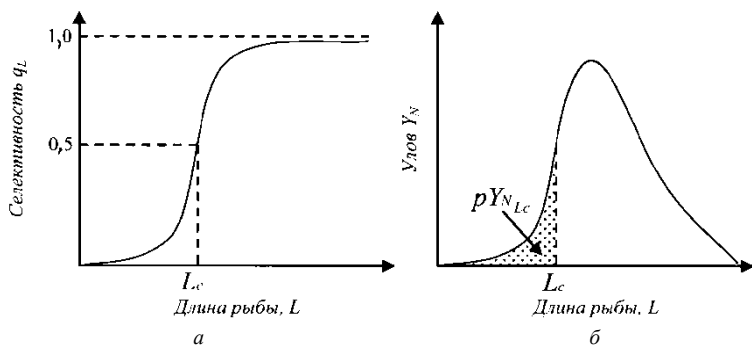


Рис. 18. Схема определения прилова рыбы непромыслового размера по кривой улова: а – огива селективности; б – кривая улова

Фактически прилов есть некоторый промыслово-биологический параметр системы «запас – промысел», который может регулироваться через изменение конструктивных особенностей орудий, но с учетом размерной структуры эксплуатируемого запаса.

Биологическое обоснование допустимой нормы прилова pY_{Lc} должно заключаться в оценке степени воздействия изъятия немерной рыбы на стабильность эксплуатируемого стада и экономические результаты промысла. По сути дела, увеличение допустимого процента прилова может быть отражено как уменьшение возраста первой поимки t_c на некоторую величину, что, соответственно, скажется на всех популяционных характеристиках, величине улова и может быть проанализировано с помощью одной из моделей эксплуатируемых популяций. Следует принять во внимание, что степень воздействия прилова немерной рыбы на запас зависит от интенсивности промысла: при низкой интенсивности даже очень высокий процент прилова не окажет влияния на стабильность популяции, так как изыматься будет небольшая часть запаса, при высокой интенсивности прилов молодежи может иметь отрицательные последствия.

К сожалению, на практике норма прилова не всегда рассчитывается по фактической оживе селективности и с учетом анализа воздействия промысла на стабильность популяции. В законодательстве Республики Беларусь прилов устанавливается в размере 20 процентов.

Таким образом, норма прилова немерной рыбы является дополнительной косвенной мерой регулирования возраста первой поимки. Применение этой меры может быть важно в следующих случаях:

1) с целью прекращения промысла в районах концентрации молодежи, когда прилов превысит установленную величину. В этом случае даже при использовании орудий с разрешенным шагом ячеи изъятие немерной рыбы окажется больше, чем это в среднем предусмотрено оживой селективности;

2) в случае необходимости контроля селективных свойств применяемого орудия, когда из-за особенностей конструкции или характера применения прилов оказывается выше, чем это должно быть исходя из кривой селективности. Увеличение шага ячеи не всегда возможно, так как это приводит к потере экономической эффективности промысла. Поэтому, например, для снижения прилова в тралах применяются специальные жесткие «селективные» вставки, через которые имеют возможность выйти немерные особи.

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

1. Запрет на ведение промысла в период нереста с целью предотвращения вылова производителей. С формальной точки зрения этот запрет есть не что иное, как косвенный способ ограничения интенсивности лова. Однако это ограничение может быть обеспечено и одним из любых других способов, перечисленных выше, например, регламентированием количества используемых орудий лова. Какой из подходов более эффективен, должны решать простые расчеты. Например, можно определить, что прекращение промысла в нерестовый период дает такой же эффект для поддержания уровня воспроизводства популяции, как снижение промыслового усилия в течение всего года на 20 %. Это может быть важно при регулировании промысла многих видов рыб, которые оказываются доступными только во время образования преднерестовых и нерестовых концентраций. Например, такие важные объекты промысла, как салака, корюшка, снеток, исторически ловятся только в период нереста, зато так называемый «мелкий частик» – окунь, плотва, густера – хотя и имеет большую численность и высокую воспроизводительную способность, традиционно запрещен к отлову во время нереста.

Запрещение промысла может вводиться также в период ската или образования плотных концентраций молоди, что обеспечивает регламентирование как интенсивности, так и селективности, аналогично запрету промысла в районах концентрации молоди.

2. Ограничение общей продолжительности промысла, введение запретных периодов или, наоборот, введение периодов, разрешенных для промысла. В целом данная мера регулирования обеспечивает сокращения промыслового усилия. Однако очень часто ограничение периодов промысла вводится по экономическим и технологическим причинам. Например, промысел может быть запрещен в период активного питания, когда вследствие быстрого разложения пищи в кишечнике рыба портится и не может использоваться для производства продукции. С другой стороны, промысел может быть разрешен только в период, когда рыба имеет наибольшую жирность и высокие товарные качества.

3. Установление запретных для рыболовства районов преследует две цели. Если районом запрета является место нагула молоди, то такая мера приведет к увеличению возраста, в котором рыба становится объектом промысла. Иначе говоря, запрет окажется направленным на защиту молоди, которая в противном случае была бы выловлена применяющимися орудиями лова. Следовательно, эта мера эквивалентна увеличению селективности орудий лова. С другой стороны, запрет промысла в районе, занятом промысловой частью популяции, приведет к уменьшению общей интенсивности лова, поскольку он снижает эффективность и обуславливает распределение рыболовного усилия. Влияние этого запрета на величину коэффициента промысловой смертности оценить довольно трудно, так как последняя будет зависеть еще и от характера миграций рыб между запретным и открытым для рыболовства районами.

При интенсивных миграциях такой запрет может оказаться неэффективным, в то время как при незначительных миграциях он приводит к уменьшению численности пополнения и может быть вредным. Понятно, что для введения такого запрета необходимо знание пространственной структуры популяции.

Кроме того, установление запретных районов в целом обеспечивает снижение интенсивности лова. В настоящее время такие районы при использовании спутниковой системы наблюдения могут достаточно просто контролироваться.

Многие временные ограничения сложились исторически, но не во всех случаях они имеют биологическое обоснование.

Знание общих закономерностей динамики эксплуатируемых популяций рыб позволяет для каждой системы «запас – промысел» выбрать меры регулирования, обеспечивающие достижение оптимального улова. Поскольку два параметра промысла – интенсивность F и селективность t_c – находятся в жесткой связи друг с другом, то меры, направленные на управление каждым из них, должны являться взаимодополняющими, а не альтернативными. Комбинация биологически обоснованных мер регулирования обеспечивает ведение рационального рыболовства.

9. ПРОМЫСЛОВЫЕ ПРОГНОЗЫ

9.1. Основное значение промысловых прогнозов

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

Водные биоресурсы – это один из видов природных ресурсов. В соответствии с принятой в настоящее время классификацией они являются исчерпаемыми, но возобновимыми. В отличие от неживых ресурсов, таких как нефть, газ и уголь, водные биологические ресурсы являются весьма специфическим объектом эксплуатации, требующим специального подхода к их использованию. Эта специфика заключается в следующем.

1. Сырьевая база рыболовства всегда нестабильна и подвержена различного рода флуктуациям во времени и пространстве. Поэтому необходимо ежегодно знать, каково состояние запаса, каков может быть оптимальный улов и какие мощности добывающей базы необходимо привлечь для его достижения. В противном случае промысел будет иметь низкую экономическую эффективность, не сможет полностью использовать запас либо, наоборот, подорвет его.

2. Несмотря на то, что живые ресурсы являются возобновимыми, их восстановительная способность в значительной степени зависит от режима эксплуатации. Перелов, закономерности которого рассматривались выше, может стать причиной исчезновения предмета эксплуатации, хотя практически промысел всю рыбу выловить не может. В случае перелова по пополнению или экосистемного перелова вступают в действие механизмы регуляции численности популяции, уже не связанные с рыболовством и поэтому не поддающиеся контролю человеком.

3. Промысел и другие виды рыбохозяйственной деятельности (искусственное воспроизводство, мелиорация) являются одними из мощнейших факторов, которые формируют сырьевую базу водоемов.

Деятельность человека может и должна быть направлена на повышение (в определенных пределах) уровня развития сырьевой базы или ее восстановления. Охрана водных биоресурсов предполагает поддержание их состояния или их восстановление до уровней, при которых могут быть обеспечены максимальная устойчивая добыча (вылов) вод-

ных биоресурсов и их биологическое разнообразие, посредством осуществления на основе научных данных мер по изучению, охране, воспроизводству, рациональному использованию водных биоресурсов и охране среды их обитания.

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

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

9.2. Виды промысловых прогнозов

С биологической точки зрения прогноз должен предусматривать оценку состояния эксплуатируемой популяции с некоторой заданной заблаговременностью. Вместе с тем, учитывая, что все рыбохозяйственные исследования направлены в первую очередь на обеспечение наибольшей эффективности использования продукционных свойств популяций – достижение максимального улова, то, как правило, за величину, которая должна быть спрогнозирована, берется не характеристика запаса, а непосредственно величина улова, которая может быть получена при предполагаемом состоянии стада.

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

Прогнозы подразделяются на три группы:

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

Годовой прогноз. Годовой прогноз содержит рекомендуемую величину вылова и ожидаемую производительность промысла на конкретный год.

Цель прогноза – оценка ОДУ и принятие решений по управлению добывающей базой в прогнозном году.

Прогноз включает в себя следующие характеристики:

- оценку состояния и величины запаса, биологические параметры популяции и показатели численности пополнения;
- прогноз общего допустимого улова.

В настоящее время процесс разработки годового прогноза достаточно сложен и состоит из нескольких этапов.

В течение года научные организации осуществляют сбор данных по биологии рыб, проводят оценку величины и состояния. Одновременно специально уполномоченные органы ведут мониторинг промысла – собирают промысловую статистику, включающую объемы вылова водных биоресурсов и промысловые усилия.

Полученные биологические и промыслово-статистические данные используются для разработки прогноза ОДУ. Методики оценки ОДУ могут быть различными исходя из имеющихся материалов, видов водных биоресурсов и характера рыболовства.

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

Долгосрочный прогноз составляется научными организациями с целью разработки стратегии и планирования развития рыбной промышленности.

Основным способом составления долгосрочных прогнозов выступает анализ трендов уловов. При этом обязательным условием является, чтобы база была больше либо равна прогнозному периоду. Например, если прогнозируется улов с 20-летней заблаговременностью, то прогноз должен базироваться на анализе динамики фактических уловов не менее чем за 20 лет.

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

- о гидрометеорологических условиях;
- об условиях и характере образования промысловых скоплений;
- прогноз ожидаемой производительности промысла.

Оперативные прогнозы позволяют более эффективно освоить выделенные квоты. Они могут разрабатываться как научными организациями, так и самими добывающими организациями.

Теория краткосрочных прогнозов строится на основе установления корреляционных связей между величинами уловов и различных факторов (температурой, уровнем, течениями, метеоусловиями и т. п.). Это, естественно, требует длительного ряда наблюдений за всеми параметрами, а не только за рыбой, что очень затруднительно.

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

На начальном этапе основная цель прогноза состояла в установлении ориентиров для развития рыбной промышленности. При этом, исходя из состояния эксплуатируемых запасов, необходимо было определить возможную величину улова, которую промысел должен освоить.

Развитие теории динамики эксплуатируемых популяций позволило более точно спрогнозировать возможную величину запаса с определенной заблаговременностью и рассчитать биологически допустимый вылов, который позже был обозначен термином «общий допустимый улов» (ОДУ). Оказалось, однако, что на многих водоемах низкий уровень развития добывающей базы не позволял полностью осваивать имеющуюся продуктивность запаса. В результате оценка ОДУ, по сути дела, не имела никакого смысла для планирования и управления рыболовством. С целью решения этой проблемы был предложен показатель ВДУ – возможный допустимый улов – как прогнозируемая величина улова, которая может быть достигнута при имеющейся величине промыслового запаса и существующем уровне развития добывающей базы. Очевидно, что ВДУ должен быть всегда меньше, чем ОДУ.

Понятие ВДУ перестало использоваться, так как в условиях рыночной экономики начали действовать другие механизмы мотивации рыболовной деятельности, хотя, на наш взгляд, ВДУ является важным показателем, потому что дает представление о реальном состоянии добывающей базы, которая в настоящее время не всегда соответствует продуктивности водных биоресурсов.

С другой стороны, было введено новое понятие «возможный вылов» (ВВ), который с биологической точки зрения тождественен ОДУ, но процедура администрирования его гораздо проще.

Учитывая сказанное, ниже под прогнозом вылова будет пониматься как величина $ОДУ = ВВ$, так и $ВДУ$, с уточнением по ситуации, какой из показателей имеется в виду.

Рассмотрим основные подходы, которые использовались в прошлом, и те из них, которые могут использоваться сейчас при прогнозировании уловов.

Прогноз на основе анализа статистики уловов (регрессионный прогноз). В основу метода заложено представление о том, что улов, приходящийся на единицу промыслового усилия, прямо пропорционален величине запаса. Следовательно, многолетняя динамика уловов позволяет судить о динамике запаса. Если найти определенную периодичность в изменении уловов, то можно спрогнозировать и возможный вылов. Например, на рис. 19 показана аппроксимация данных полиномом четвертой степени, с помощью которого можно экстраполировать величину улова с определенной заблаговременностью. Как видно, коэффициент корреляции уравнения достаточно высок ($R = 0,57$), что характеризует и возможную ошибку прогноза (рис. 19).

$$Y = 0,0002 \cdot 4 - 1,3866 \cdot 3 + 4123,6 \cdot 2 - 5E + 0,6X + 3E + 0,9.$$

$$R = 0,5702.$$

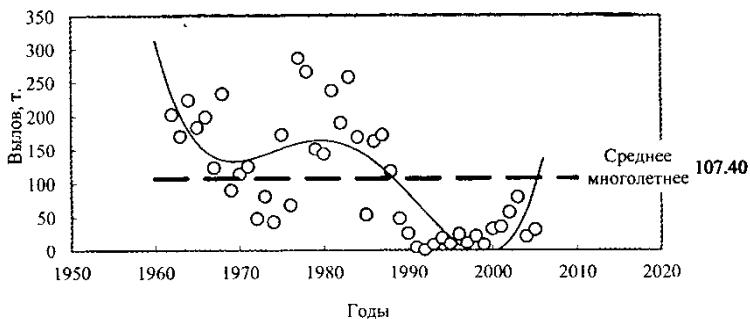


Рис. 19. Регрессионный прогноз вылова

В том случае, когда тенденции изменения уловов не в полной мере отражают предполагаемое изменение запаса, величина прогноза $ОДУ$ может быть установлена на уровне среднеемноголетнего улова.

Аналоговый прогноз – прогноз на основе анализа гидрологических условий водоема. Изменение гидрологического режима в той

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

Зависимости эти довольно трудно описываются, поэтому на практике очень часто пользуются методом аналогии: в серии наблюдений находят годы, когда имелись сходные с текущими условия (температурный режим, гидрологические параметры), и оценивают влияние их на величины уловов. Такой прогноз позволяет оценить ВДУ, но не ОДУ.

Биологический прогноз – прогноз, основанный на учете биологического состояния стада. Рассмотренные в предыдущих главах закономерности динамики эксплуатируемых популяций рыб показывают, что популяционные параметры, а также состояние ихтиоценоза и в целом экосистемы в значительной степени зависят от промысла. Следовательно, по их состоянию можно судить о степени эффективности рыболовства и делать умозаключения о возможных тенденциях в изменении запаса.

Кратко эти закономерности можно сформулировать следующим образом:

1) высокая интенсивность промысла приводит к уменьшению численности популяции, средней длины и массы особи в улове, к изменению возрастной структуры популяции в сторону омоложения;

2) снижение численности популяции под воздействием промысла влечет за собой недоиспользование кормовой базы и повышение биомассы кормовых организмов;

3) в результате снижения численности запаса происходит увеличение обеспеченности пищей рыб, повышение их темпа роста и упитанности;

4) высокая обеспеченность пищей приводит к более раннему половому созреванию (так как в более раннем возрасте достигается масса созревания), кроме того, созревание поколения происходит более быстро, а не растягивается на несколько лет.

Обратные последствия будут иметь место при снижении интенсивности промысла.

Используя описанные причинно-следственные связи, Г. В. Николь-

ский (1974) предложил критерии прогнозирования уловов и определения прогноза вылова (ОДУ в современной терминологии). Излагая ниже эти критерии, мы попытаемся дать их критический анализ с целью оценки возможности их практического использования.

Г. В. Никольский рассмотрел три варианта управления: в каком случае ОДУ может быть оставлен прежним, а в каком – уменьшаться или увеличиваться.

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

- если темп роста особей близок к максимальному и изменчивость роста в пределах каждой возрастной группы незначительна (трудно установить максимальный рост, неизвестна оптимальная изменчивость роста);

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

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

2. ОДУ должен быть уменьшен, если:

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

- половая зрелость ранняя и возрастной ряд впервые созревающих особей сжат;

- уловы при стабильной или повышающейся интенсивности промысла падают;

- уровень развития кормовой базы высокий.

3. ОДУ должен быть увеличен, когда:

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

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

- уловы стабильны или возрастают;

- кормовая база в начале кормового сезона близка к среднегодовой, а во время нагула интенсивно выедается.

Несмотря на очевидность этих положений, следует признать, что, во-первых, проявляться они будут не сразу, а в достаточно отдаленной перспективе, а во-вторых, эти связи могут иметь не линейный характер. Например, промысловая смертность и численность популяции могут изменяться в десятки раз, но никогда темп роста рыб не может увеличиться или уменьшится даже в 2 раза, так как он определяется генотипом. Темп и возраст созревания могут изменяться в связи с характером роста рыб и обеспеченностью пищей, но тоже в незначительных пределах. Именно поэтому данный подход может обеспечить лишь чисто качественное определение ОДУ и прогноза. Несмотря на это, он может использоваться в некоторых случаях на внутренних водоемах.

Биостатистический прогноз. Биостатистический прогноз – это обобщенное обозначение группы дополняющих друг друга методик, позволяющих рассчитать ВДУ и ОДУ с заблаговременностью 1–2 года. Прогноз основывается на данных о биологических показателях исследуемой популяции и статистике промысла (отсюда и его название). По сути дела, биостатистический прогноз есть не что иное, как модель популяции, которая может предсказывать поведение популяции с большей или меньшей достоверностью в зависимости от наличия или отсутствия необходимой информации. Различные модификации расчетов имеют целью нивелировать недостаток исходных данных, но единой универсальной методики до настоящего времени не существует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов, Ф. И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства / Ф. И. Баранов // Изв. Отд. рыболовства и научно-промысловых исслед. – 1918. – Т. 1, вып. 1. – С. 84–128.
2. Баранов, Ф. И. Избранные труды / Ф. И. Баранов. – М.: Пищ. пром-ть, 1971. – 304 с.
3. Баранов, Ф. И. К вопросу о динамике рыбного промысла / Ф. И. Баранов // Бюлл. рыбн. хоз-ва. – 1925. – Т. 8. – С. 26–38.
4. Бивертон, Р. Динамика численности промысловых рыб / Р. Бивертон, С. Холт. – М.: Пищ. пром-ть, 1969. – 248 с.
5. Бэр, К. М. Материалы для истории рыболовства в России и принадлежащих ей морях / К. М. Бэр // Уч. зап. Акад. наук. – 1854. – Вып. 4. – С. 5–23.
6. Дементьева, Т. Ф. Биологическое обоснование промысловых прогнозов / Т. Ф. Дементьева. – М.: Пищ. пром-ть, 1976. – 238 с.
7. Засосов, А. В. Динамика численности промысловых рыб / А. В. Засосов. – М.: Пищ. пром-ть, 1976. – 312 с.
8. Никольский, Г. В. Теория динамики стада / Г. В. Никольский. – М.: Пищ. пром-ть, 1974. – 447 с.
9. Рикер, У. Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб / У. Е. Рикер. – М.: Пищ. пром-ть, 1979. – 408 с.
10. Сечин, Ю. Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах / Ю. Т. Сечин. – М.: ВНИИПРХ, 1990. – 50 с.
11. Тюрин, П. В. Биологическое обоснование регулирования рыболовства на внутренних водоемах / П. В. Тюрин. – М.: Пищепромиздат, 1963. – 120 с.
12. Шибяев, С. В. Промысловая ихтиология / С. В. Шибяев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.
13. Hjort, J. Fluctuations in the Great Fisheries on Northern Europe, viewed in the light of biological research / J. Hjort. – Rapp. P.-V. Réun. Cons. Perm. int. Explor. Mer, 1914. – V. 20. – 228 p.
14. Schaefer, M. B. Some Considerations of Population Dynamics and Economics in Relation to the Management of Marine Fisheries / M. B. Schaefer // Journal of the Fisheries Research Board of Canada 14, 669–681, 1957.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ИХТИОЛОГИИ.....	4
1.1. История появления промысловой ихтиологии как науки.....	4
1.2. Место промысловой ихтиологии в системе рыбохозяйственных дисциплин...	5
1.3. Задачи промысловой ихтиологии	7
1.4. Системный подход в промысловой ихтиологии.....	7
1.5. Роль математических методов в промысловой ихтиологии	9
2. МЕТОДЫ СБОРА ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. ОРУДИЯ РЫБОЛОВСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ СБОРА ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	13
2.1. Рыболовный промысел. Классификация орудий рыболовства	13
2.2. Параметры орудий лова	15
2.3. Основные параметры промысла	18
3. ФОРМАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ЖИЗНИ РЫБ.....	22
3.1. Возникновение формальной теории жизни рыб.....	22
3.2. Первопричины, определяющие динамику популяции	24
3.3. Сущность формальной теории жизни рыб Ф. И. Баранова.....	25
3.4. Стабилизация численности популяции	30
4. ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ПОПУЛЯЦИИ	32
4.1. Статистические параметры популяции	32
4.2. Динамические параметры популяции	41
4.3. Промыслово-биологические параметры популяции	42
5. СМЕРТНОСТЬ РЫБ.....	44
5.1. Коэффициенты смертности и выживания.....	44
5.2. Естественная смертность.....	47
5.3. Промысловая смертность	50
6. ВОСПРОИЗВОДСТВО, ПОПОЛНЕНИЕ, РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ.....	54
6.1. Воспроизводство и пополнение стада рыб.....	54
6.2. Рост популяции	58
6.3. Продуктивность популяции	67
7. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ МОДЕЛИ.....	73
7.1. Модель Ф. И. Баранова.....	73
7.2. Модель У. Е. Рикера	75
7.3. Развитие аналитических моделей	78
8. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫБОЛОВСТВА.....	80
8.1. Общие положения	80
8.2. Основные подходы к регулированию рыболовства	81
8.3. Современные меры регулирования рыболовства	83
9. ПРОМЫСЛОВЫЕ ПРОГНОЗЫ	94
9.1. Основное значение промысловых прогнозов	94
9.2. Виды промысловых прогнозов	95
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	102

Учебное издание

Салтанов Юрий Михайлович

ПРОМЫСЛОВАЯ ИХТИОЛОГИЯ

Курс лекций

Редактор *Н. П. Лаходанова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 13.12.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 6,04. Уч.-изд. л. 5,13.
Тираж 30 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.