

**АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра промышленного рыболовства

**МЕТОДЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ТЕОРИИ РЫБОЛОВСТВА**

Часть I

**ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ РЫ-
БОЛОВСТВА
МЕТОДЫ БИОПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИ-
СТИКИ**

Методическое пособие для студентов специаль-
ности «Промышленное рыболовство» и направ-
ления «Рыболовство»

Астрахань, 2011

Авторы: д.т.н. профессор кафедры промышленного
рыболовства А.В. Мельников.
д.т.н. профессор кафедры промышленного
рыболовства В.Н. Мельников.

Методические разработки рассмотрены и утвер-
ждены на заседании кафедры промышленного
рыболовства __ сентября 2011 г., протокол № .

Рецензент - к.т.н., доцент кафедры промышленного
рыболовства Е.П. Новожилов.

1. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ РЫБОЛОВСТВА

1.1. Оценка относительной величины запасов по уловам и уловам и на промысловое усилие

1.1.1. Если промысел достаточно интенсивен и стабилен, то колебания уловов часто отражают изменения численности промыслового стада. Наиболее надёжной оценкой относительной численности стада служат годовые уловы. Колебания уловов за более короткие промежутки времени иногда отражают не столько изменения численности стада, сколько особенности состояния, поведения и распределения рыбы в отдельные периоды годового цикла. На результат оценки относительной численности стада влияют изменения техники и технологии лова. Например, изменение размеров трала или скорости траления приводит к существенному изменению производительности лова. К относительному уменьшению уловов (при том же промысловом усилии) может привести сокращение спроса на рыбу, изменение ее себестоимости, снижение квалификации рыбаков.

Тем не менее, анализ общих уловов часто способствует оценке изменения численности стада. Сравнение колебаний численности стада за периоды с различной интенсивностью промысла позволяют иногда установить степень влияния промысла на стадо рыб.

Точность оценки относительной численности стада на основе анализа общих уловов зависит от качества сбора статистических материалов об уловах. Погрешности в сборе материала снижают точность оценки. Напротив, хорошо налаженная полная статистика уловов позволяет выявить динамику уловов и запасов отдельных стад рыбы, установить сезонные колебания численности, колебания уловов и запасов по отдельным районам промысла.

1.1.2. Один из методов определения относительной численности запаса основан на оценке величины улова на единицу промыслового усилия, например, на одну промысловую единицу. Колебания величины промыслового усилия за рассматриваемый промежуток времени в этом случае

меньше сказываются на оценке относительной величины запаса.

У некоторых орудий лова (сетей, крючковых орудий лова) улавливающая способность уменьшается по мере увеличения числа захваченных рыб. В этом случае улов на промысловое усилие также пропорционален численности стада, но с меньшим коэффициентом пропорциональности.

При интенсивном промысле улов на промысловое усилие часто падает, и это обстоятельство влияет на оценку относительной численности стада.

Точность оценки относительной численности стада можно повысить, если известна хотя бы приближенная количественная оценка связи численности стада и улова на промысловое усилие (см. 1.2 и раздел 2).

1.1.3. Третий метод оценки относительной величины запасов, кроме улова и улова на промысловое усилие, учитывает возрастной состав стада.

Если считать естественную смертность из года в год постоянной, то анализ возрастного состава стада и улова за ряд лет позволяет определить численность выловленных рыб каждого поколения. Сравнивая данные о численности отдельных поколений, оценивают изменения в стаде и динамику численности стада за прошедший период.

Основу метода составляет определение пополнения промыслового стада, т.к. обычно наиболее существенные колебания численности стада обусловлены изменением величины пополнения. По численности пополнения и темпу роста рыб подсчитывают численность поколения в целом, амплитуду колебаний, нижний уровень запаса. Одновременно определяют степень использования запаса, в т.ч. темп изъятия промыслом каждой возрастной группы. Метод позволяет, кроме установления причин изменений в составе и численности запаса, прогнозировать улов на предстоящий год.

Метод требует проведения длительных и обширных наблюдений за состоянием стада и промысла. Чем длиннее ряд наблюдений, тем точнее оценка относительной численности запаса и прогноза. Применение метода с различными

ограничениями снижает точность оценки запасов и прогнозов запасов.

1.1.4. Методы оценки относительной величины запасов не позволяют судить, насколько достоверно установлено относительное увеличение или уменьшение запасов.

Недостоверность оценки результата связана, с одной стороны, с неточностью оценки годовых уловов или уловов на усилие, с другой, приближенностью связи показателей промыслового усилия с запасом. С учетом неточностей различие на 10-15% в уловах за два соседних года при относительной оценке запасов не всегда можно считать достоверным. Соответственно, следует осторожно использовать полученные данные для определения допустимого улова. При таких результатах расчета допустимый улов иногда нецелесообразно изменять, если запас не находится в критическом состоянии.

Точность оценки относительной величины запаса можно повысить, если имеются данные о величине улова или улова на усилие за несколько лет. Существенно помогает оценке относительной величины запаса с учетом улова или улова на усилие применение контрольных карт и последовательного анализа. В соответствии с этими методами используют многолетние обработанные данные об уловах и уловах на усилие, представляя их в наглядной графической форме. Эти же методы позволяют точнее и надежнее регулировать запасы и рыболовство по ограниченными исходным данным.

1.2. Оценка запасов методом учетных и промысловых съемок

1.2.1. Широкое распространение получил метод определения запасов промысловых рыб по результатам облова водоема различными орудиями лова. Наибольшее значение имеет облов разноглубинными и донными тралами, донными, кошельковыми и закидными неводами, обкидными сетями.

Учетные съемки предусматривают проведение специального лова для оценки запасов, а промысловые - использование данных промыслового лова.

В основу метода положено равенство:

$$N_{\text{ср}} = \frac{V \cdot c_{\text{ср}}}{v \cdot \Phi_{\text{ср}}}, \quad (1.1)$$

где $N_{\text{ср}}$ - средняя численность рыб в популяции; V - объем водоема, занятый популяцией; v - обловленный объем за цикл лова; $c_{\text{ср}}$ - средний улов за цикл лова; $\Phi_{\text{ср}}$ - среднее значение коэффициента уловистости.

Вместо объема водоема в выражение (1.1) можно ввести соответствующую площадь водоема и обловленную площадь скопления.

В соответствии с распространенной методикой V , v и $\Phi_{\text{ср}}$ считают постоянными параметрами, а запас оценивают только с учетом колебаний лова. Улов считают распределенным по логарифмически нормальному закону. С учетом этого по экспериментальным данным определяют среднюю геометрическую величину улова и доверительный интервал улова обычно с вероятностью 0,95. После этого экстраполируют средний улов на всю площадь водоема, занятую скоплением, и определяют средний запас объекта лова, а также нижнюю и верхнюю границу возможной численности запаса.

При большом разбросе улова акваторию водоема делят на зоны с близкими уловами. Средний улов в целом определяют с учетом среднего улова в каждой зоне и относительных размеров зон.

Описанная методика исходит из верных предпосылок. Однако она не учитывает некоторые особенности лова, поведения и распределения рыбы, предусматривает допущения, которые влияют на точность и достоверность оценки запасов.

1.2.2. Чаще при проведении учетных и промысловых съемок используют тралы. Поэтому рассмотрим возможные уточнения известной методики в основном при лове этими орудиями.

1.2.3. Прежде всего, существующая методика не учитывает, что часть слоя рыбы может находиться в зоне облова,

а часть выше или ниже его. Для устранения этого недостатка в выражение (1.1) вводят коэффициент

$$k_N = \frac{L_y}{l_y \cdot M_y}, \quad (1.2)$$

где L_y - высота облавливаемого скопления; l_y - высота зоны облова, например, вертикальное раскрытие трала; M_y - коэффициент, учитывающий, какую часть скопления по высоте облавливает орудие лова.

Коэффициент M_y меньше 1, когда орудие лова облавливает часть скопления по высоте.

1.2.4. Известная методика не принимает во внимание, что при проведении учетных и промысловых съемок концентрация рыбы перед зоной облова ρ_B и в самой зоне облова ρ_0 часто неодинакова. Часть рыбы уходит из будущей зоны облова, например, под влиянием шумов судна и орудия лова. При промысловых съемках отличается также концентрация рыбы перед зоной облова при выборе мест с повышенной концентрацией рыбы и в среднем в промысловой части водоема ρ_B . Чтобы учесть различие концентраций, например, во втором случае, в расчетные формулы для оценки запаса вводят отношение ρ_B/ρ_0 .

Приближенно это отношение можно найти по результатам оценки запаса за прошлые годы:

$$\frac{\rho_B}{\rho_0} = \frac{N_{cp}^* \cdot \nu \cdot \Phi_{cp}^*}{V^* \cdot c_{cp}}, \quad (1.3)$$

В этом выражении показатели со значком (*) принимают обычно по результатам исследований за прошлые годы.

С учетом двух рассмотренных уточнений выражение (1.1) принимает вид:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{о}}} \cdot \frac{1}{M_{\text{y}}} \cdot \frac{V \cdot c_{\text{ср}}}{v \cdot \Phi_{\text{ср}}}. \quad (1.4)$$

1.2.5. Выражение (1.4) можно представить также в следующем виде:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{о}}} \cdot \frac{1}{M_{\text{y}}} \cdot \frac{V \cdot c_{\text{f}}}{\Phi_{\text{ср}}}, \quad (1.5)$$

где c_{f} - улов на единицу обловленного объема V .

Улов на единицу обловленного объема иногда можно получить по небольшой выборке за короткое время, а не за год, как обычно.

1.2.6. Выражение (1.4) можно записать также в следующем виде, считая, что интенсивность лова $I_{\text{л}} = v/V$:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{о}}} \cdot \frac{c_{\text{ср}}}{M_{\text{y}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \Phi_{\text{ср}}}. \quad (1.6)$$

1.2.7. Численность запаса можно также выразить через интенсивность вылова $I_{\text{в}}$:

$$N_{\text{ср}} = \frac{c_{\text{ср}}}{I_{\text{в}}} = \frac{c_{\text{ср}}}{1 - \exp\left(\frac{\rho_{\text{в}} I_{\text{л}} \Phi_{\text{ср}}}{\rho_{\text{о}}}\right)}. \quad (1.7)$$

Последнее выражение уточняет оценку запаса, особенно при большой интенсивности вылова.

Правую и левую часть выражения (1.7) можно умножить на допустимую интенсивность вылова и вместо запаса определить непосредственно общий допустимый улов по величине улова и отношению допустимой к фактической интенсивности вылова. При стабильном состоянии запаса и промысла фактическая и допустимая интенсивность вылова иногда близки между собой. Тогда допустимый и фактический улов также примерно равны.

1.2.8. При использовании метода учетных и промысловых съежек возможны погрешности оценки зоны облова.

1.2.9. Существующая методика не учитывает неравноценности обловленного объема при различном горизонтальном и вертикальном размере устья трала, скорости траления. По этой причине при различных сочетаниях перечисленных параметров лова, но при одном и том же обловленном объеме, можно получить различный улов.

Соответственно, при оценке запасов обловленные объемы при лове тралами необходимо сравнивать только для скоростей траления, которые отличаются не более чем на 3-4%. В ряде случаев при обобщении данных учитывают также отличие горизонтального и особенно вертикального раскрытия тралов.

1.2.10. При использовании метода зависимость улова разноглубинного трала от обловленного объема принято считать линейной. Однако линейность существует обычно в сравнительно узком диапазоне значений обловленного объема. Так, если вертикальное раскрытия трала существенно превышает высоту облавливаемых скоплений, то увеличение вертикального раскрытия и за счет этого обловленного объема слабо влияет на величину улова. Нелинейной, более того экстремальной, является зависимость улова от скорости траления.

Таким образом, при оценке запасов и управлении запасами иногда необходимо ограничивать область линейной зависимости между уловом и обловленным объемом или переходить на нелинейные зависимости. Неравноценность обловленного объема при различных параметрах устья трала и скорости траления, степень нелинейности связи улова и обловленного объема можно оценить с применением известных математических моделей производительности разноглубинного и донного тралового лова. Такие модели рассмотрены в работах по проектированию орудий лова.

1.2.11. Следующий серьезный недостаток существующей методики связан с оценкой коэффициента уловистости. Часто коэффициент считают неслучайной величиной и недооценивают большой разброс его значений. Однако практиче-

ски для всех орудий лова и одного и того же объекта лова коэффициент уловистости изменяется в 2-3 раза и более.

Особенно большое влияние на точность оценки запасов оказывает лов с низкими значениями (менее 0.2-0.3) коэффициента уловистости. В этом случае даже небольшая абсолютная погрешность оценки коэффициента дает большую (иногда в 1.5-2.0 раза) погрешность оценки запаса.

При больших колебаниях коэффициент уловистости необходимо дифференцировать, по крайней мере, с учетом светового режима на глубине лова, скорости траления, состава облавливаемых скоплений.

Особенно важно влияние на коэффициент уловистости типа светового режима на глубине лова. Поэтому значения коэффициента целесообразно определять для дневного, сумеречного и ночного светового режима на глубине лова.

Большое влияние на коэффициент уловистости оказывает селективность орудия лова. Уход рыбы через ячею из сетных мешков и сливов изменяется обычно от 10-15% до 50-60% от улова при постоянных колебаниях этой величины. Селективность тралового мешка, как и другой подобной концентрирующей части орудий лова, можно учесть, записав коэффициент уловистости в следующем виде:

$$\Phi_{\text{ср}} = \Phi_{\text{нс}} \cdot \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{макс}}} g(l) \cdot S(l) \cdot dl, \quad (1.8)$$

где $\Phi_{\text{нс}}$ - средний коэффициент уловистости при условно не-селективном лове; $g(l)$ - функция плотности распределения облавливаемых скоплений; $S(l)$ - функция кривой селективности; $l_{\text{макс}}$ - максимальная длина рыб в облавливаемых скоплениях; $l_{\text{мин}}$ - минимальная длина рыб в облавливаемых скоплениях.

1.2.12. Как показано выше, все величины, входящие в (1.1), кроме величины улова, часто считают постоянными параметрами. Фактически, все они являются случайными величинами, что влияет на оценку величину запаса. Улов

обычно распределен по логарифмически нормальному закону, площадь или объем зоны облова, а также площадь или объем, занятые популяцией, - по нормальному закону. Коэффициент уловистости как величина, ограниченная с двух сторон $[0;1]$, подчиняется закону бета-распределения (при не слишком больших и малых средних значениях коэффициента уловистости закон его распределения можно принять нормальным). Логарифмически нормальному закону подчиняется распределение отношения ρ_v/ρ_o , нормальному закону - коэффициента k_N в формуле (1.2).

1.2.13. Определение интервальной оценки запаса при различных законах распределения влияющих на него случайных величин (часть из которых зависимы, а часть независимы) является сложной задачей. Приближенную оценку можно получить, если при заданной доверительной вероятности (обычно 0.8-0.9) определить максимальные и минимальные оценки составляющих величин. Затем минимальные величины использовать для определения минимально возможной величины запаса, а максимальные величин - максимальной величины запаса.

Иногда точные данные о законе распределения для оценки доверительного интервала отсутствуют. Тогда можно воспользоваться графическим методом, который не требует знания закона распределения рассматриваемого показателя. В соответствии с этим методом строят полигоны распределения запаса, задаются доверительной вероятностью при оценке доверительного интервала и непосредственно на полигоне определяют доверительный интервал. Для этого, например, при 90%-й доверительной вероятности, на полигоне отсекают справа и слева по 5% площади и таким образом находят левую и правую границы доверительного интервала.

1.2.14. Расчеты показывают, что с учетом случайного характера всех величин в выражении для оценки запаса минимальное и максимальное гарантированные значения величины запаса часто отличаются в 10-20 раз. Стандартное отклонение запаса от его среднего значения иногда превышает 80-100%.

Важно, что при оценке допустимого улова по величине запаса в расчет обычно принимают среднее значение запаса. Однако, как известно из математической статистики, при решении подобных задач исходят не из среднего значения, а из гарантированной минимальной величины, которая соответствует нижней границе доверительного интервала. При большой погрешности исходных данных нижней границе доверительного интервала отвечает очень небольшой гарантированный запас. Это обстоятельство иногда объясняет причину перелова многих объектов при оценке запаса рыб по результатам учетных и промысловых съемок.

1.2.15. Хорошо известно, что для повышения точности оценки запаса при проведении учетных и промысловых съемок целесообразно принимать периоды с более или менее постоянным ареалом распространения исследуемой популяции и меньшими перемещениями рыбы внутри этого ареала. Выполнение этих условий также способствует определенности оценки запаса.

1.2.16. Несмотря на уточнения, метод оценки запаса по данным учетных и промысловых траловых и других съемок не всегда дает достоверные результаты. При этом погрешность, как правило, значительно превышает допустимую.

1.3. Оценка запасов методом гидроакустических и промыслово-акустических съемок

1.3.1. В ранее рассмотренных методах оценки запасов гидроакустические средства служили как вспомогательные для оценки распределения скоплений рыб в пределах некоторой акватории.

Кроме того, известны методы с использованием гидроакустических приборов как самостоятельного средства изучения запасов рыб. Как правило, они основаны на определении плотности скоплений эхоинтегрированием с учетом линейной зависимости показаний эхоинтегратора от плотности скопления.

Для оценки запасов гидроакустическим способом сначала проводят рекогносцировочную, а затем детальную эхометрические съемки.

При проведении рекогносцировочной гидроакустической съемки определяют площадь обитания рыбы, устанавливают характер ее распределения и поведения, ориентировочно оценивают численность объекта. Детальная съемка служит для возможно более точной оценки запасов рыб.

Эффективность оценки запасов гидроакустическим методом во многом зависит от выбора сетки галсов. Траектория судна, прежде всего, должна пересекать фронтальные и градиентные зоны, вихревые образования и другие участки водоема, наиболее благоприятные для образования промысловых скоплений. Расстояние между галсами выбирают с учетом распределения объекта лова.

По результатам гидроакустических измерений плотности скоплений усредняют за определенный отрезок перемещения судна. В зависимости от особенностей распределения рыбы и размеров исследуемого участка водоема интервал усреднения принимают от 1 мили до 30 миль.

Планирование и обработка данных гидроакустических съемок производится с использованием ЭВМ.

Оценка запасов гидроакустическим методом совершенствуется и находит все более широкое применение. Уже сейчас он применяется для съемки скоплений минтая, сельди, путассу, мойвы и многих других рыб, хотя известны погрешности метода (см. 1.2.4).

1.3.2. Оценка запасов методом промыслово-акустических съемок разработана в развитие гидроакустических съемок в основном применительно к траловому лову.

В основу метода положено определение общей поверхностной плотности распределения рыбы ρ_{sk} (в т/миля²) на исследуемых участках водоема по данным об уловах и гидроакустических съемок:

$$\rho_{sk} = \frac{3,43 \cdot 10^6 \cdot c \cdot l_B}{\varphi_{cp} \cdot K_B \cdot V_1}, \quad (1.9)$$

где c - улов за час траления, т/ч; I_B - вертикальное раскрытие трала, м; Φ_{cp} - средний коэффициент уловистости тралов; K_B - коэффициент вертикального охвата облавливаемых скоплений, равный отношению поверхностной плотности скоплений в слое облова ρ_{st} к общей поверхностной плотности ρ_{sk} во всем слое рыбы высотой I_B ; V_1 - обловленный тралом объем в единицу времени, м³/ч.

1.3.3. По уточненной методике поверхностные плотности ρ_{st} и ρ_{sk} определяют по данным гидроакустических съемок, а средний коэффициент уловистости тралов Φ_{cp} по данным контрольных или промысловых уловов в местах проведения гидроакустических съемок:

$$\Phi_{cp} = \frac{3,43 \cdot 10^6 \cdot c^* \cdot I_B^*}{\rho_{st}^* \cdot V_1^*}. \quad (1.10)$$

В последнем выражении показатели с индексом (*) имеют тот же смысл, что и в выражении (1.9), но получены по осредненным данным.

При использовании уточненной методики практически, в соответствии с выражением (1.10), общую поверхностную плотность ρ_{sk} определяют через аналогичную плотность, которая входит в коэффициент вертикального охвата облавливаемых скоплений K_B . С учетом этого уравнение (1.10) можно применить для определения коэффициента уловистости, но без индексов (*):

$$\Phi_{cp} = \frac{3,43 \cdot 10^6 \cdot c \cdot I_B}{\rho_{st} \cdot V_1}. \quad (1.11)$$

Значения коэффициента уловистости, полученные по выражениям (1.10) и (1.11), полезно сравнивать между собой. После сравнения значение коэффициента уловистости можно

подставлять в (1.9) и определить общую поверхностную плотность ρ_{sk} .

Если считать, что концентрация рыбы в зоне облова высотой l_B и во всем слое рыбы высотой L_B примерно одинакова, для коэффициента K_B используют простое и более точное выражение, аналогичное выражению (1.2):

$$K_B = \frac{l_B}{L_B \cdot M_y}. \quad (1.12)$$

С учетом формулы (1.12) гидроакустическими методами необходимо определить лишь поверхностную плотность ρ_{st}^* и по формуле (1.10) - коэффициент уловистости.

Найденная по формуле (1.9) поверхностная плотность ρ_{sk} не учитывает, что в процессе промысловых съемок концентрация рыбы перед зоной облова ρ_B и в самой зоне облова ρ_0 часто неодинаковы из-за ухода части рыб от зоны облова, например, под влиянием шумов судна. Отличается также концентрация рыбы перед зоной облова и в среднем в промысловой части водоема ρ_B , если для лова выбирают места с повышенной концентрацией рыбы. Чтобы учесть различие концентраций, в формулы для оценки запаса, вводят отношение ρ_B/ρ_0 .

При проведении гидроакустических съемок из-за шумов судна неодинакова концентрация рыбы перед зоной действия гидроакустической аппаратуры $\rho_{пг}$ и в зоне действия гидроакустической аппаратуры ρ_{sk}^* . Для этого в расчетные формулы вводят отношения этих плотностей. С учетом различия рассмотренных плотностей выражение (1.10) для общей поверхностной плотности примет вид:

$$\rho_{sk} = \frac{3,43 \cdot 10^6 \cdot c \cdot l_B}{\varphi_{cp} \cdot K_B \cdot V_1} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_0} \cdot \frac{\rho_{пг}}{\rho_{ск}^*}. \quad (1.13)$$

Приближенно первое отношение плотностей можно найти по результатам оценки запаса за прошлые годы.

По распределению общих поверхностных плотностей на отдельных участках известными методами можно определить доверительные интервалы суммарной биомассы запаса.

Из выражений для оценки общей плотности скоплений и определения по этой величине суммарной биомассы запаса следует, что погрешность оценки последней величины зависит от результатов промысловых и акустических съемок. Соответственно погрешность рассмотренного метода оценки запаса больше, чем отдельно по результатам промысловых и акустических съемок даже при использовании зависимости (1.12) для определения K_B .

Некоторым преимуществом этого метода перед гидроакустическим методом можно считать большую надежность результата, т.к. промысловые съемки в известной степени выполняют контрольные функции. Они позволяют избежать очень больших погрешностей при проведении акустических съемок в некоторых условиях.

1.3.4. Несмотря на распространение, гидроакустические и промыслово-акустические методы имеют серьезные недостатки, которые снижают точность определения запасов.

Так, для гидроакустических съемок наибольшая погрешность обусловлена неточностью пересчета гидроакустических съемок в оценку плотности скоплений рыб из-за недостаточной точности калибровки гидроакустических измерительных систем. Эта ошибка, наряду с другими погрешностями оценки плотности и по ней оценки биомассы дает общую погрешность определения биомассы до 80-100% и более. Известны способы, которые усложняют измерения, но снижают эту погрешность до 60-70%.

Для промыслово-акустических съемок в некоторой степени характерны погрешности гидроакустических съемок, и, кроме того, большие погрешности оценки коэффициента

уловистости в целом и по размерно-возрастным группам. Совместно к гидроакустическим и промысловым (траловым) съемкам относится использование данных о составе уловов для расшифровки видового состава запасов.

Кроме того, иногда отмечают слабую совместимость гидроакустических съемок и, например, траловых съемок. Действительно первые служат для оценки абсолютной численности рыб, а вторые используют относительные данные для оценки коэффициента уловистости. Кроме того, оба вида съемок применяют несинхронно.

Для частичного устранения ПИНРО предложил проводить трало-видео-акустическую съемку. Такая съемка, по мнению авторов, позволяет проводить послыйный и синхронный просмотр водоема телевизионной и акустической аппаратурой.

1.4. Оценка запасов с применением съемок и математических моделей лова

1.4.1. При оценке запасов методами учетных, промысловых и промыслово-акустических съемок необходимо знать коэффициент уловистости, который определяют с применением экспериментальных данных различными способами (см. 1.1-1.2).

Выражения для коэффициента уловистости входят во все математические модели производительности лова, которые разработаны практически для всех основных видов лова.

1.4.2. В обобщенном виде коэффициент уловистости орудий лова выражают через вероятности ухода рыбы из зоны облова различными путями. Так, обобщенное выражение для коэффициента уловистости разноглубинного трала имеет вид:

$$\varphi = (1 - p_{пу}) \times (1 - p_y) \times (1 - p_{об}) \times (1 - p_m), \quad (1.14)$$

где $p_{пу}$, p_y , $p_{об}$, p_m – соответственно вероятность ухода рыбы из предустьевого пространства трала, путём обратного выхода из трала, через его оболочку передней части трала и через ячеи тралового мешка.

Вероятности улова рыбы в развернутых математических моделях выражены через параметры лова, показатели объекта лова и условий внешней среды. Например, в соответствии с развернутым выражением коэффициент уловистости разноглубинного трала зависит от горизонтального и вертикального раскрытия трала, скорости траления, параметров оболочки трала и тралового мешка, вида и размерного состава рыбы, светового режима на глубине лова и т.д.

Расчеты с применением математической модели лова разноглубинными тралами показали, что величина коэффициента уловистости наиболее совершенного трала при изменении только условий лова колеблется в основном от 0.2 до 0.5, а в общем случае - от 0.1 до 0.6.

Известны математические модели для оценки коэффициента уловистости, разработанные на этом принципе, для всех основных орудий лова.

1.4.3. Точность аналитической оценки коэффициента уловистости обычно выше, чем найденные другими способами.

Важно также, что с применением математических моделей определяют характер и степень влияния различных факторов на коэффициент уловистости, что позволяет принимать в расчет не осредненное его значение, а соответствующее конкретным условиям лова.

Расчетные значения коэффициента уловистости можно использовать при всех видах съемок для оценки запасов, что снижает их трудоемкость и повышает точность оценки запасов.

1.5. Оценка запасов на основе анализа миграций проходных и полупроходных рыб в реках и в прибрежных районах моря

1.5.1. Метод служит для оценки запасов рыб, которые продолжительное время мигрируют в реке или вдоль берега моря и регулярно облавливаются. Место и время лова выбирают так, чтобы облову подвергался весь запас. Например, при лове в реках мигрирующей рыбы этому условию отвечает промысловый участок, расположенный ближе других к

морю. Лов рыб возможен закидными неводами, ловушками, ставными и плавными сетями.

Количество рыбы, прошедшей через некоторое сечение реки или прибрежного района моря, определяют по величине улова с учетом обловленной площади водоема и всей площади водоема, из которого рыба подошла к месту лова:

$$N_{\text{cp}} = \frac{S}{s} \cdot \frac{c_{\text{cp}}}{\varphi_{\text{cp}}}, \quad (1.15)$$

где N_{cp} - среднее количество рыб в популяции, прошедшей через сечение водоема за время хода; c_{cp} - средний улов за сутки; S - площадь водоема, из которого рыба подходит к месту лова за сутки; s - площадь облова за сутки; φ_{cp} - среднее значение коэффициента уловистости орудия лова.

Площадь водоема

$$S = 73440 \cdot B \cdot v_p, \quad (1.16)$$

где B - ширина хода рыбы, м; v_p - скорость миграции рыбы, м/с.

В общем случае обловленная площадь за сутки

$$s = s_{\text{ц}} \cdot n, \quad (1.17)$$

где $s_{\text{ц}}$ - обловленная площадь за цикл лова; n - количество циклов лова за сутки.

1.5.2. Основные проблемы определения запаса рассматриваемым способом связаны с оценкой коэффициента уловистости и скорости миграции рыбы. Как и ширина хода рыбы, они могут изменяться в широких пределах, в т.ч. для рыб разных видов и размеров. С учетом колебаний этих показателей иногда полезно определять запас как сумму запасов рыб различного вида и размера и с учетом нескольких скоростей миграций.

При ежегодной оценке запасов на некотором промысловом участке, например, на тоне для лова закидными неводами, некоторые параметры промысла из года в год изменяются незначительно. Часто считают относительно постоянной величину

$$A = \frac{S}{s \cdot \varphi_{\text{cp}}} . \quad (1.18)$$

Если ранее определен ежегодный улов и соответствующий запас за ряд, то, подставляя в (1.15) средний улов и средний запас за эти годы, можно получить среднее значение коэффициента $A = A_{\text{cp}}$. С учетом этого в дальнейшем запас определяют по формуле:

$$N_{\text{cp}} = A_{\text{cp}} \cdot c_{\text{cp}} . \quad (1.19)$$

При существенном изменении условий промысла находят новое значение коэффициента A_{cp} .

1.6. Оценка запасов с учетом улова и предельного возраста рыбы

1.6.1. Среднегодовой запас за прошедший год приближенно равен годовому улову, деленному на годовую интенсивность вылова.

1.6.2. При нормальном промысле (без существенного недолова и перелова) в течение длительного времени и относительно постоянстве запаса фактическая интенсивность вылова $I_{\text{в}}$ близка к допустимой интенсивности вылова $[I_{\text{в}}]$. Та, в свою очередь, зависит от вида рыбы и достаточно определенного для каждого вида предельного возраста.

По результатам обработки экспериментального материала, допустимая интенсивность вылова $[I_{\text{в}}]$ связана с предельным возрастом рыбы (практически, предельным возрастом рыбы в уловах) $t_{\text{пр}}$ приближенной зависимостью:

$$[I_B] = \exp(-k_t \cdot t_{\text{пр}}), \quad (1.20)$$

где k_t - коэффициент, учитывающий зависимость $[I_B]$ от предельного возраста рыбы.

Обычно считают, что $[I_B]$ приближается к 0 при $t_{\text{пр}} = 35 - 40$ годам. Это условие ориентировочно выполняется, если $k_t \cdot t_{\text{пр}} = 4$, а $k_t = 0.1$. Соответственно, выражение (1.20) принимает вид

$$[I_B] = \exp(-0.1 \cdot t_{\text{пр}}), \quad (1.21)$$

1.6.3. С учетом годового улова c и выражения (1.21) величина среднегодового запаса

$$N_{\text{ср}} = \frac{c}{[I_B]} = \frac{c}{\exp(-0.1 \cdot t_{\text{пр}})}. \quad (1.22)$$

1.6.4. Наиболее точный результат получают при сравнительно стабильном запасе, когда при постоянном количестве промысловых единиц, достаточно стабильна и интенсивность вылова.

Примерно такова же точность оценки запаса при нестабильном запасе и стабильном промысле. В этом случае изменение улова учитывает изменение запаса, при этом возможны также некоторые отклонения интенсивности вылова.

Наименее точные результаты получают, когда одновременно нестабильны запасы и число работающих промысловых единиц. В этом случае уловы обычно резко изменяются в связи колебанием запасов, и возможно существенное изменение интенсивности вылова при одновременном увеличении погрешности оценки запаса.

Выполненный ретроспективный анализ показал, что даже в самых неблагоприятных случаях погрешность оценки запасов редко превышает 40-50% , а в среднем составляет 20-30% . Это в 2-3 меньше, чем в среднем другими способами.

1.6.5. Способ можно использовать для оценки величины запаса для любых объектов и способов лова по общедоступным исходным данным. Его применение особенно целесообразно, когда отсутствуют или ненадежны данные для аналитической оценки запаса. Кроме того, способ можно использовать как альтернативный для сравнения результатов, полученными другими способами. Он применим также как экспресс-способ, особенно при прогнозировании величины запаса.

1.7. Оценка запасов методом мечения

1.7.1. В соответствии с методом оценивают соотношение числа меченых и немеченых рыб в улове, и по этому показателю определяют абсолютную численность облавливаемой популяции рыб.

Известно несколько методов, основанных на мечении рыб. Они отличаются особенностями мечения рыб, отбора проб и учета смертности рыб в процессе эксперимента. Рассмотрим некоторые из них.

1.7.2. В соответствии с методом Петерсена рыб метят только раз, а затем отбирают одну пробу и подсчитывают в ней число меченых рыб. Процесс мечения должен быть кратковременным, а пробу следует брать через некоторый промежуток времени, достаточный для перемешивания меченых рыб с немечеными, но в сжатые сроки. Метод Петерсена можно непосредственно использовать при выполнении следующих основных условий:

- естественная смертность меченых и немеченых рыб одинакова;
- меченые и немеченые рыбы одинаково уязвимы для облова;
- меченые рыбы не теряют своих меток;
- полная регистрация меток при осмотре улова.

Невыполнение некоторых из перечисленных условий снижает точность оценки численности популяции.

Область применения метода Петерсена ограничивает необходимость проведения отлова рыб после мечения в

сравнительно сжатые сроки. В противном случае условие о постоянстве пропорции меченых особей на протяжении эксперимента не соблюдается, и пробы нельзя рассматривать как одну, взятую в усредненный момент времени.

1.7.3. В соответствии с методом Шнейбл рыб метят в водоеме в течение длительного времени. В это же время многократно отбирают пробы и по ним определяют число выловленных меченых рыб. Отбираемые пробы возвращаются назад в водоем, чтобы популяция не изменяла численности.

Метод Шнейбл позволяет получать приемлемые результаты в более широком диапазоне условий эксперимента и контролировать ход эксперимента вычислением промежуточных оценок численности.

1.7.4. Кроме рассмотренных, известно много других методов определения численности популяций мечением рыб, в том числе учитывающих смертность меченых и не меченых рыб.

Практическое применение методов в различных условиях показало, что они дают положительные результаты при оценке численности простых особенно замкнутых популяций. По этой причине необходимо предусматривать необходимость перепроверки результата с привлечением других методов. Тем не менее, метод мечения применяется не только для оценки численности рыб, но и степени эксплуатации популяции, коэффициента выживания популяции от одного интервала времени до другого, коэффициента пополнения популяции и т.д.

1.8. Оценка запасов по результатам наблюдений

1.8.1. В соответствии с методом рыб считают по результатам визуальных или телевизионных наблюдений, кино съемки, фотометрических, и других оптических устройств. Иногда в этом случае определяют не только количество рыб, но также размерный и видовой состав. В этом случае устройства должны иметь блоки распознавания образов, в т.ч. работающие с применением ЭВМ.

В необходимых случаях в местах наблюдений устанавливают источники света и экраны для улучшения условий наблюдений.

Количество зафиксированных рыб при периодических наблюдениях пересчитывают на сутки хода рыбы, а затем подсчитывают абсолютное количество рыб, прошедших через сечение водоема за определенный промежуток времени.

1.8.2. Оценка численности по данным наблюдений дает хорошие результаты при малой концентрации рыб и в благоприятных условиях наблюдения. При большой концентрации рыб и плохих условиях наблюдения точность результата резко падает.

Существенным недостатком метода является ограниченная зона наблюдений из-за низкой прозрачности воды или освещенности.

К рассмотренной группе условно можно отнести способы с применением гидроакустических средств наблюдения для оценки численности отдельных рыб. Такие средства обычно имеют большую зону действия.

2. МЕТОДЫ БИОПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ

2.1. Биостатистические методы оценки и анализа запасов

2.1.1. В литературе часто различают биостатистические методы и методы биопромысловой статистики оценки запасов.

Биостатистические методы основаны на изучении возрастной структуры промысловых уловов и величины уловов за ряд лет. В основу определения запаса положены статистические материалы об объекте лова, поэтому методы называют биостатистическими. В международной практике, по предложению Ф.Е. Фрая, такие методы оценки величины промысловых популяций называют методами виртуально популяционного анализа (VPA).

В традиционных методах биопромысловой статистики применяют лишь данные промысловой статистики о величине улова или улове на промысловое усилие и не используют данные о структуре улова и запаса. Однако в последнее время в таких методах также иногда учитывают состав улова и запаса.

По этой причине обе группы методов объединены в одну - биопромысловой статистики. Рассмотрим в этом параграфе особенности некоторых традиционных биостатистических методов.

2.1.2. Один из первых биостатистических методов, предложенный А.Н. Державиным, основан на анализе возрастной структуры популяции.

В соответствии с этим методом определяют общую численность популяции на начало первого года. Рыба предыдущего года к началу первого года имеет условно возраст, равный одному году (возраст 1); рыб менее возраста 1 при оценке численности популяции не учитывают.

Чтобы определить численность популяции в начале первого расчетного года необходимо, начиная с этого года, определять ежегодно возрастной состав и величину уловов в

течение ряда лет, превышающих предельный возраст рыбы. По результатам наблюдений оценивают средний возрастной состав популяции, который считают неизменным в течение всего срока наблюдений.

Общий запас в начале первого года равен сумме улова этого года, улова следующего (второго) года за вычетом рыб в возрасте одного года, улова третьего года за вычетом рыб в возрасте одного и двух лет и т.д. Таким образом, общий запас в начале первого года равен сумме слагаемых, число которых совпадает с предельным возрастом рыбы в уловах.

Полученная таким образом величина запаса является минимальной, т.к. не учитывает естественную смертность рыб. Кроме того, погрешность метода обусловлена допущением о постоянстве возрастного состава запаса.

Метод А.Н. Державина иногда дает приемлемые результаты при определении численности долгоживущих рыб, а также при достаточно стабильной численности поколений и интенсивности промысла (в этом случае возможно относительное постоянство возрастного состава популяции).

2.1.3. У многих рыб наблюдаются значительные колебания урожайности и размерного состава популяции. В последующих моделях, разработанных независимо Е.Г. Бойко, Г.Н. Монастырским, Н.Л. Чугуновым, принимают не осредненный, а фактически наблюдаемый за каждый год возрастной состав популяции.

Г.Н. Монастырский предложил аналогичный метод оценки запаса с делением его на пополнение, повторно нерестующих рыб и рыб, пропустивших нерестовый сезон.

Учет колебаний пополнения и размерного состава облавливаемых скоплений расширяет возможности биостатистических методов, и, в частности, позволяет использовать его для оценки запасов рыб с коротким жизненным циклом и значительными колебаниями численности.

2.1.4. Расчетная величина популяции при использовании рассмотренных методов не учитывает естественной смертности рыб. Такую величину популяции называют используемым запасом, или виртуальной популяцией. Чтобы перейти от виртуальной популяции к фактической, то есть с

учетом естественной смертности рыб, Фрейзер, в частности, предложил дополнить биостатистический анализ мечением рыб.

2.1.5. Развитием рассмотренных биостатистических методов является методы виртуально популяционного анализа (VPA). Они также основаны на последовательном восстановлении численности отдельных поколений по результатам анализа размерного или возрастного состава уловов. Кроме того, в VPA используют гипотезу об экспоненциальном законе убыли численности поколения и уравнение Ф.И. Баранова, связывающее улов, показатели естественной, промысловой смертности и величину запаса.

Как современный метод оценки запасов VPA применяют с 1965 г., когда Мэрфи и Галланд разработали способы решения уравнения Ф.И. Баранова для процедуры последовательных вычислений.

Практически самостоятельными методами VPA являются методы когортного анализа, в которых используют упрощенные уравнения и процедуры расчетов.

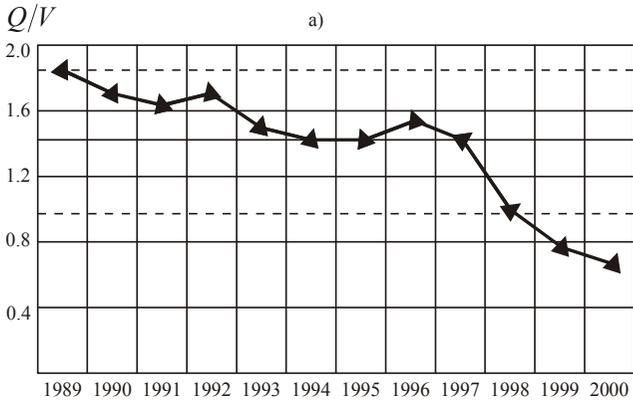
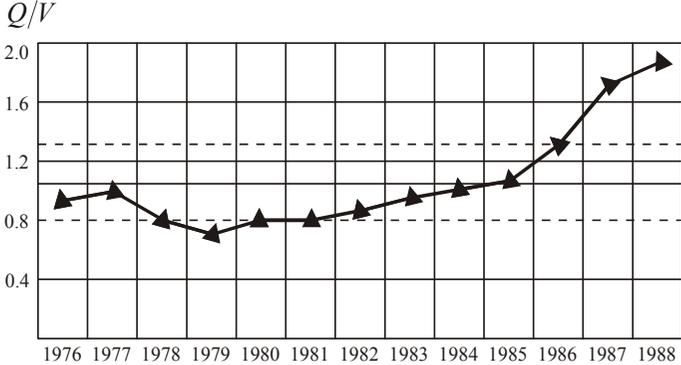
2.2. Методы контрольных карт и последовательного анализа

Методы контрольных карт и последовательного анализа используют в общем случае для оценки состояния, контроля, регулирования и прогнозирования многих показателей рыболовства, которые получают в результате экспериментов, сбора статистических материалов. Наиболее часто такими показателями являются улов или его составляющие, многочисленные показатели промыслового усилия, улов на промысловое усилие, запас или его составляющие и т.д.

Подробнее методы описаны в следующих методических пособиях. Здесь рассмотрим пример применения этих методов для оценки состояния запасов по данным об улове на промысловое усилие. Как показано в 2.1, этот показатель во многих случаях достаточно точно характеризует состояние запасов.

На рис. 2.1 построены контрольные карты для стационарного лова речными закидными неводами и для механиз-

рованного лова в дельте Волги. Весь период наблюдений разбит на два периода стационарности, чтобы в каждом из них изменение улова на усилие считать случайным стационарным процессом.



б)

Рис. 2.1. Контрольные карты улова на усилие для двух периодов стационарности. Лов на стационарных тонях и механизированными звеньями в дельте Волги.

На контрольных картах нанесены точки. Каждая из точек соответствует половине суммы улова Y за соседние два года, деленного на промысловое усилие f_{st} как стандартизи-

рованного числа промысловых единиц. Точки соединены ломаной линией.

На контрольных картах нанесены пунктиром также верхняя и нижняя границы регулирования. Если ломаная линия улова на промысловое усилие выходит за верхнюю границу регулирования при стабильном промысле, то в общем случае целесообразно увеличить промысловое усилие в связи с ростом запаса. Напротив, выход ломаной линии за нижнюю границу регулирования означает нежелательное падение улова на усилие, возможный перелов и целесообразность снижения промыслового усилия для восстановления запасов.

Практически важно с большей точностью знать, когда необходимо начинать регулирование промыслового усилия. Используем для этой цели метод последовательного анализа.

Метод пригоден при относительно стабильном состоянии (почти стационарном) изменении улова на усилие. С учетом этого время проведения одного этапа последовательного анализа часто ограничивают периодами стационарности, на которые известными методами можно разделить нестационарный процесс.

На рис. 2.2 показаны данные последовательного анализа для оценки состояния промысла в дельте Волги по результатам лова закидными неводами на стационарных тонях и механизированными звеньями.

По оси абсцисс отложен год наблюдений, а по оси ординат - нарастающая сумма улова на усилие за последовательные годы. В этих координатных осях по известным уравнениям строят две параллельные прямые. После каждого года наблюдений на график наносят нарастающую сумму улова на усилие. Пока очередная наносимая точка находится в зоне, ограниченной двумя параллельными прямыми, т. е. в полосе продолжения наблюдений, улов на усилие и запас считают нормальным. При этом к регулированию интенсивности промысла не прибегают. Выход очередной точки из этой зоны свидетельствует о неблагоприятном состоянии запасов. Тогда необходимо регулировать промысловое усилие, допустимый улов. Так, на рис. 2.2 точки вышли вверх за полосу

продолжения испытаний и возможно увеличение интенсивности промысла.

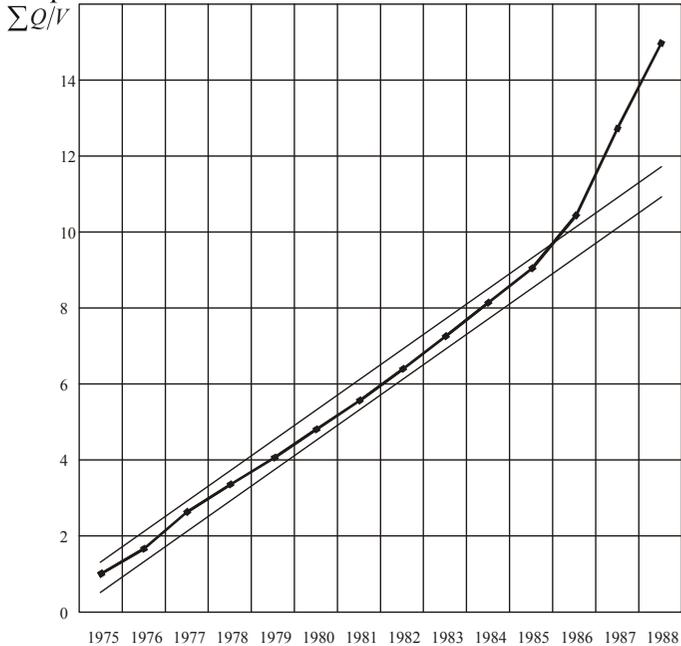


Рис. 6.2. Результаты последовательного анализа лова закидными неводами на стационарных тонях и механизированными звеньями за период с 1975г. по 1988г.

Регулирование промыслового усилия можно начинать раньше, чем контрольные точки вышли за допустимые пределы. При этом ниже вероятность недопустимого состояния запасов и необходимость резкого изменения промыслового усилия. Кроме самых неблагоприятных случаев состояния запасов, при использовании контрольных карт и последовательного анализа ежегодное изменение величины промыслового усилия не должно превышать 15-20%. Эту величину устанавливают не только с учетом состояния запаса, но и нежелательного резкого изменения интенсивности промысла.

2.3. Методы оценки запасов по уловам на промысловое усилие

2.3.1. По величине улова на усилие c_f судят об относительной численности запаса. Однако американский ученый Делури показал, что улов на усилие иногда позволяет определить численность промыслового стада. Для решения задачи Делури использовал выражение:

$$\ln c_f = \ln(qN_0) + q\sum f, \quad (2.1)$$

где q - коэффициент улавливаемости как коэффициент пропорциональности между промысловым усилием f и коэффициентом мгновенной промысловой смертности F ; N_0 - начальное состояние запасов; $\sum f$ - промысловое усилие, накопленное за рассматриваемый промежуток времени, например, за судосутки лова.

Если по экспериментальным данным построить график $\ln c_f$ в зависимости от $\sum f$, и он линейный, то, в соответствии с (2.1), угол наклона прямой характеризует величину q . Прямая отсекает на оси ординат отрезок, численно равный $\ln(qN_0)$. Зная эту величину и q , определяют N_0 . Состояние запасов в любой момент времени по накопленному к этому моменту времени промысловому усилию $\sum f$, можно определить по формуле:

$$N = N_0 \exp(-q\sum f). \quad (2.2)$$

Метод Делури не учитывает естественной смертности рыб, изменения коэффициента улавливаемости рыб, и он пригоден в основном для небольших периодов промысла. Кроме того, его можно использовать, когда вылов существенно снижает численность популяции, а также при линейной зависимости между уловом на усилие и общим уловом.

Метод не предусматривает также пополнения популяции в период промыслового сезона.

Разработаны различные модификации метода и моделей Делури. Они, в частности, учитывают естественную смертность и пополнение промыслового стада, включают поправки на промысловое усилие. Поправки позволяют использовать модификации методов для больших периодов времени продолжительностью в несколько лет.

Некоторые из них являются частными случаями обобщенного уравнения Бивертон-Холта для величины улова.

2.3.2. В основу другого метода оценки запасов по улову на промысловое усилие положена известная зависимость улова на усилие c_f от средней за год величины запаса N_{cp} :

$$c_f = \frac{1}{f}(1 - \exp(-qf))N_{cp}, \quad (2.3)$$

а также приближенное выражение

$$c_f = \frac{q \cdot V_0}{f} \cdot N_{cp}, \quad (2.4)$$

где f - промысловое усилие; q - коэффициент улавливаемости; V_0 - обловленный объем водоема.

Приближенно коэффициент улавливаемости

$$q = \frac{\rho_0 \Phi_{nc} \cdot \int_{l_{мин}}^{l_{макс}} g(l) \cdot S(l) \cdot d(l)}{\rho_B \cdot V_B}, \quad (2.5)$$

где ρ_0 - средняя концентрация рыбы в обловленном объеме; ρ_B - средняя концентрация рыбы в промысловой части водоема; Φ_{nc} - коэффициент уловистости при условно неселективном лове; $g(l)$ - функция плотности распределения по

размеру облавливаемых скоплений; $S(l)$ - функция размерной селективности орудия лова; $l_{\text{макс}}$ и $l_{\text{мин}}$ - максимальный и минимальный размер рыб в облавливаемых скоплениях; V_B - объем промысловой части водоема.

С учетом (2.3) и (2.4) запишем два выражения для оценки запаса:

$$N_{\text{ср}} = \frac{c_f f}{1 - \exp\left(-\frac{\rho_0 \varphi_{\text{нс}} V_0 \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{макс}}} g(l) \cdot S(l) \cdot d(l)}{\rho_B V_B}\right)}; \quad (2.6)$$

$$N_{\text{ср}} = \frac{c_f f \rho_B V_B}{\rho_0 \varphi_{\text{нс}} V_0 \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{макс}}} g(l) \cdot S(l) \cdot d(l)}. \quad (2.7)$$

В выражениях (2.6) и (2.7), при необходимости, можно считать уловом $c = c_f f$, промысловым усилием $f = V_0$ (если мерой промыслового усилия принять единицу обловленного объема), интенсивностью лова отношение V_0/V_B .

При оценке отношения концентраций рыбы ρ_B/ρ_0 , как и при оценке запаса по результатам промысловых съемок, учитывают, что оно зависит, с одной стороны, от разной концентрации рыбы в водоеме в целом и в зоне облова (при выборе места лова с повышенной концентрацией рыбы), с другой, - с отличием концентрации рыбы перед зоной облова и в самой зоне облова из-за ухода части рыбы при приближении судна или орудия лова. Важно, что влияние этих эффектов не складывается, а вычитается и приближает отношение ρ_B/ρ_0 к 1.

С учетом рассмотренных замечаний выражения (2.6) и (2.7) используют, прежде всего, для оценки влияния различных факторов на соотношение между запасом, с одной сто-

роны, и уловом на промысловое усилие или уловом, с другой.

Практическое применение выражений (2.6) и (2.7) затрудняет определение некоторых показателей. Во многих случаях задачу можно решить, если выразить сложно определяемые показатели через осредненные за ряд лет значения доступных показателей. Введем обозначение

$$\frac{\rho_B V_B}{\rho_0 \Phi_{нс}} = A, \quad (2.8)$$

Величина A иногда стабильна в течение нескольких лет, и с учетом выражения (2.7) ее можно определить через осредненные за ряд лет показатели:

$$A = \frac{N_{ср} \int_{l_{мин}}^{l_{макс}} g^*(l) S^{*}(l) d(l)}{c_f^*}, \quad (2.9)$$

Значки (*) в выражении (2.9) означают осреднение показателя за ряд лет.

Обычно осреднение показателей производят за период стационарного изменения величины запаса или улова на усилие, а также при нестационарном изменении этих величин, если разница между минимальным и максимальным их значением не превышает 30-40%. При нарушении этих условий показатель A пересчитывают, сдвигаясь на ряд лет.

С учетом (2.9) средний запас в рассматриваемый год

$$N_{ср} = A \frac{c_f}{\int_{l_{мин}}^{l_{макс}} g^*(l) S^*(l) \cdot d(l)}. \quad (2.10)$$

За основу расчетов запаса принято выражение (2.7). Более общее выражение для оценки запаса можно получить, если за исходное принять выражение (2.6). Его целесообразно использовать при интенсивности вылова больше 0.2-0.25.

Для приближенных расчетов запаса конечные выражения для оценки запаса упрощают. Например, иногда считают, что значение интеграла в (2.10) при рационально подобранном размере ячеи в основном изменяется от 0.75 до 0.85 . Однако при завышенном размере ячеи эта величина может уменьшаться до 0.5 и более, а при заниженном - приближаться к 1.

Способ дает хорошие результаты при достаточно точных исходных данных для оценки величины A по формуле (2.9).

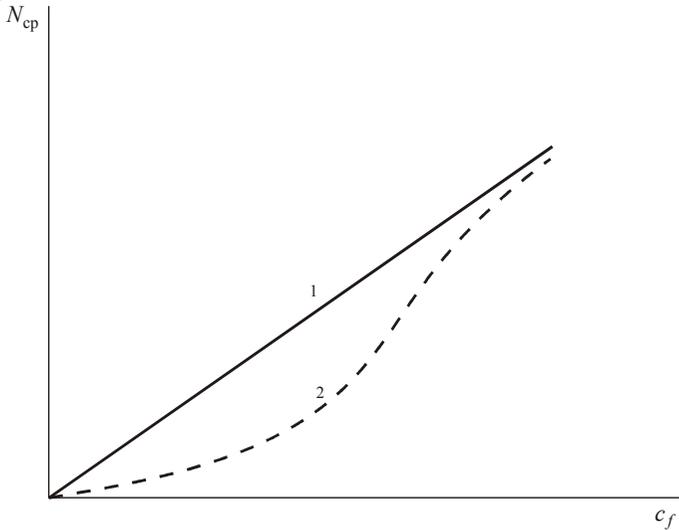


Рис. 6.3. Зависимость запаса $N_{\text{ср}}$ от улова на промысловое усилие c_f при равномерном (1) и неравномерном (2) распределении рыбы в водоеме.

С учетом выражений (2.9) и (2.10) величина A за период осреднения постоянна. Кроме того, зависимость запаса от улова на усилие линейна (рис. 2.3), т.к. для сравнительно узкого диапазона улова на усилие принято постоянным отношение ρ_B/ρ_0 . В общем случае это отношение (из-за облова обычно более плотных скоплений рыбы) зависит от неод-

нородности концентрации рыбы в водоеме. Соответственно связь коэффициента A с отношением ρ_B/ρ_0 в общем нелинейная. Следовательно, нелинейной является также зависимость численности запаса N от улова на усилии c_f . Линейная зависимость возможна лишь при очень большой концентрации рыбы в водоеме и интенсивном промысле, когда примерно $\rho_B = \rho_0$. Нелинейный вид зависимости получен по результатам обработки экспериментальных данных и преобразований выражения (2.7):

$$N_{\text{ср}} = \frac{c_f \rho_B V_B \left[1 - \frac{\rho_B}{\rho_0} \exp\left(-4 \frac{\rho_B}{\rho_0}\right) \right]}{\rho_0 \Phi_{\text{нс}} \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{макс}}} g(l) S(l) d(l)}. \quad (2.11)$$

Примерный характер нелинейной зависимости показан на рис. 2.3 пунктиром.

Рассмотренный способ оценки запасов имеет также ряд недостатков, как и описанные в 2.3.1. Однако он показывает, как можно в подобных методах учесть неравномерность распределения рыбы, селективные свойства рыболовства. Он позволяет также уточнить степень нелинейности связи между запасом и уловом на промысловое усилие.

Очевидно, в полученные уравнения можно ввести коэффициент мгновенной промысловой смертности, пополнение и другие факторы, влияющие на точность оценки запаса.

2.4. Оценка допустимой интенсивности вылова с учетом предельного возраста рыбы и интенсивности промысла (метод Ф.И. Баранова)

2.4.1. Метод Ф.И. Баранова основан на предположении, что главной причиной гибели рыбы является промысел, и что ежегодно вылавливают одну и ту же долю запаса. С учетом этого численность последовательных возрастных групп, вступивших в промысел, выражается убывающей геометрической прогрессией. При этом можно установить, какая возрастная группа в улове настолько малочисленна, что ее воз-

раст можно рассматривать как предельный. Учет не предельного физиологического возраста рыбы, а предельного возраста рыбы в уловах позволяет учесть не только промысловую, но и естественную смертность рыбы.

Таким образом, зная предельный возраст рыбы в улове $t_{пр}$, можно в первом приближении оценить допустимую интенсивность вылова при заданных условиях по формулам (1.20) и (1.21).

2.4.2. Метод Ф.И. Баранова в достаточной степени обоснован при стабильном пополнении запаса, стабильной интенсивности и селективности промысла, при близком к среднему уровню запаса. Он более приемлем для рыб с большой продолжительностью жизни и невысокой естественной смертностью.

2.5. Оценка допустимой интенсивности вылова и допустимого улова с учетом распределения величины запаса и предельного возраста рыбы

2.5.1. Допустимая интенсивность вылова $[I_b]$ зависит не только от предельного возраста рыбы в улове $t_{пр}$, но и от численности и колебаний численности нерестового стада. Из теоретических и практических соображений примем за основу выражение, связанное с формулой (1.20):

$$[I_b] = k_N \exp(-k_t t_{пр}), \quad (2.12)$$

где k_N - коэффициент, учитывающий величину и закономерности колебаний запаса; k_t - коэффициент, учитывающий влияние на $[I_b]$ предельного возраста рыбы.

2.5.2. Если, как и ранее считать, что $[I_b]$ близок к 0 при $t_{пр} = 35-40$ годам, то примерно $k_t t_{пр} = 4$, а $k_t = 0,1$.

Коэффициент k_N определим из условия, что при некотором минимальном запасае $N_{мин}$ вылов рыбы нежелателен

при любом $t_{\text{пр}}$ и, следовательно, до величины запаса $N_{\text{мин}}$ коэффициент $k_N = 0$. При большем, чем $N_{\text{мин}}$, запасе $[I_B]$ растет и при некотором большом запасе $N_{\text{макс}}$, значительно превышающем средний запас, принимает значения, близкие к 1. Указанным требованиям приближенно отвечает следующая экспоненциальная зависимость:

$$k_N = 1 - \exp\left(-4 \frac{N - N_{\text{мин}}}{N_{\text{макс}} - N_{\text{мин}}}\right). \quad (2.13)$$

С учетом (2.12) и (2.13) получим:

$$[I_B] = \left[1 - \exp\left(-4 \frac{N - N_{\text{мин}}}{N_{\text{макс}} - N_{\text{мин}}}\right)\right] \exp(-k_i t_{\text{пр}}). \quad (2.14)$$

В соответствии с (2.14) при хорошем состоянии запасов допустимая интенсивность вылова зависит в основном от предельного возраста рыбы, а при ухудшении состояния запасов все больше влияет текущая величина запаса. Так, при хорошем состоянии запасов, когда коэффициент k_N можно считать равным единице, значения допустимой интенсивности вылова $[I_B]$ зависят только от предельного возраста $t_{\text{пр}}$ и приведены ниже:

$t_{\text{пр}}$	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18
$[I_B]$	0,74	0,67	0,61	0,55	0,50	0,45	0,37	0,3	0,25	0,20	0,17

Такие значения интенсивности вылова можно считать максимально допустимыми для рыбы с определенным предельным возрастом. О степени влияния величины запаса на допустимую интенсивность вылова судят по данным о величине коэффициента k_N . Когда отношение $N_{\text{макс}}/N_{\text{мин}}$,

например, равно 3, а N/N_{\min} изменяется от 1 до 3, то величина коэффициента k_N принимает значения:

N/N_{\min}	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
k_N	0,00	0,39	0,63	0,78	0,86	0,92	0,95	0,97	0,98

Из расчетных данных следует, что влияние величины запаса на $[I_B]$ сказывается в основном при запасе, превышающем минимальный запас не менее чем в 2-2,5 раза.

2.5.3. При использовании рассматриваемого метода большое значение имеет оценка N_{\max} и особенно N_{\min} .

Наиболее простым можно считать способ оценки N_{\max} , когда известна статистика запасов за большой промежуток времени, и эту величину принимают максимальной за все годы наблюдений. Возможна оценка этой величины как максимального за рассматриваемые годы улова на промысловое усилие.

Для определения N_{\max} также можно использовать результаты расчетов запаса при уравновешенном состоянии запаса и промысла, например, с применением модификаций уравнений Баранова-Бивертон-Холта, продукционных моделей. При этом полученное значение запаса для такого состояния запаса увеличивают в 2-3 раза с учетом его случайных ежегодных колебаний в пределах периода стационарности.

Иногда N_{\max} приближенно определяют с учетом значений N_{\min} . В этом случае считают, что их отношение для рыб различных экологических групп, за исключением случаев существенного сокращения запасов, достаточно стабильно. Важно, что требования к точности оценки N_{\max} невелики, особенно, если в расчетах, как показано ниже, использовать не N_{\max} , а отношение N_{\max}/N_{\min} .

Величина $N_{\text{мин}}$ является важнейшим показателем, регламентирующим рыболовство, ниже которого запас не должен опускаться. Будем называть эту величину минимально допустимым запасом $[N_{\text{мин}}]$. В качестве допустимого запаса могут выступать:

- наименьшее наблюдаемое значение нерестовой биомассы;
- ряд показателей нерестовой биомассы, способной обеспечить некоторый минимальный уровень пополнения, исключить подрыв запаса, потерю его промыслового значения и предотвратить перелов по пополнению;
- показатели нерестовой массы, которые приводят к перелову по росту, т.е. к омоложению запаса.

Среди этих показателей лишь первый показатель является достаточно определенным, хотя и наименее биологически обоснованным. Его можно определить, если запас изменяется в широких пределах и достигает низких значений. Очевидно, динамика запаса не всегда позволяет получить такую величину.

Одним из ориентиров при оценке минимально допустимого запаса $[N_{\text{мин}}]$ должны стать экономические показатели. С учетом таких показателей величина $[N_{\text{мин}}]$ должна обеспечить минимально допустимую прибыль, себестоимость или уровень рентабельности. При использовании экономических показателей расчетная величина $[N_{\text{мин}}]$ может оказаться больше уровня соответствующего биологической безопасности запаса. Соответственно, для подстраховки необходимо еще и дополнительный показатель запаса, учитывающий возможный перелов по пополнению или перелов по росту.

Особенности связи $[N_{\text{мин}}]$ с экономическими показателями рассмотрены ниже.

Если данные для оценки распределения запаса отсутствуют, то таким же образом используют более доступные

данные об изменении улова на промысловое усилие и связи этого показателя с запасом.

Один из перспективных способов определения $[N_{\text{мин}}]$ и $[N_{\text{макс}}]$ заключается в делении периода промысла на периоды стационарности. Внутри каждого периода с учетом показателя направленности процесса можно определить среднее значение и среднеквадратичное отклонение. Если считать закон распределения запаса нормальным и задаться заданной доверительной вероятностью, то можно определить вероятные значения $[N_{\text{мин}}]$ и $[N_{\text{макс}}]$. При этом доверительная вероятность при оценке первой величины, как более важной, может быть другой, чем при оценке второй величины,

2.5.4. Рассмотрим в развитии рассмотренного способа один из возможных способов определения величины запасов $N_{\text{мин}}$ и $N_{\text{макс}}$.

Предположим, по результатам многолетних исследований установлено, что изменение величины запаса является стационарным процессом с нормальным законом распределения со средним значением $N_{\text{ср}}$ и среднеквадратичным отклонением σ_N . В общем случае можно принять:

$$N_{\text{мин}} = N_{\text{ср}} - c\sigma_N; \quad (2.15)$$

$$N_{\text{макс}} = N_{\text{ср}} + c_1\sigma_N, \quad (2.16)$$

где c и c_1 - коэффициенты.

Коэффициенты c и c_1 зависят, прежде всего, от предельного возраста рыбы. Приближенно для рыб с предельным возрастом более 10-12 лет коэффициент c можно считать равным 2, а для рыб с предельным возрастом менее 10-12 лет – 2.5; соответственно коэффициент c_1 для рыб первой группы – 2.5, а для рыб второй группы - 3,0.

Если распределение запаса не подчиняется закону нормального распределения, то $N_{\text{мин}}$ принимают соответству-

ющим ординатам кривой распределения 0.2-0.25 слева от максимальной ординаты кривой распределения, а $N_{\text{макс}}$ - ординатам кривой распределения 0.1-0.15 справа от максимальной ординаты этой кривой.

С учетом выражений (2.15) и (2.16) формулу (2.14) можно представить в следующем виде:

$$[I_B] = \left[1 - \exp\left(-4 \frac{N - N_{\text{ср}} + c\sigma_N}{c_1 - c}\right) \right] \exp(-k_t t_{\text{пр}}), \quad (2.17)$$

При $N = N_{\text{ср}}$ выражение (2.17) имеет вид зависимости, которая не содержит показателей распределения запаса,

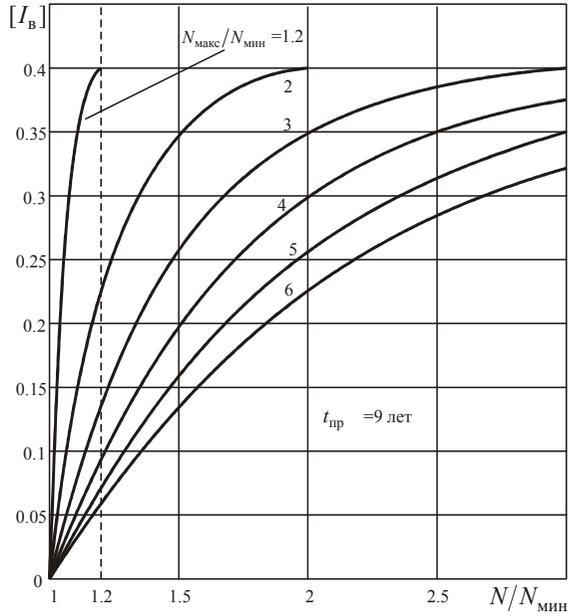
$$[I_B] = \left[1 - \exp\left(-4 \frac{c}{c_1 - c}\right) \right] \exp(-k_t t_{\text{пр}}), \quad (2.18)$$

Из (2.18) следует, что в рассматриваемом частном случае коэффициент k_N близок к 1, и допустимая интенсивность вылова, в соответствии с формулой (2.13), зависит в основном от предельного возраста рыбы.

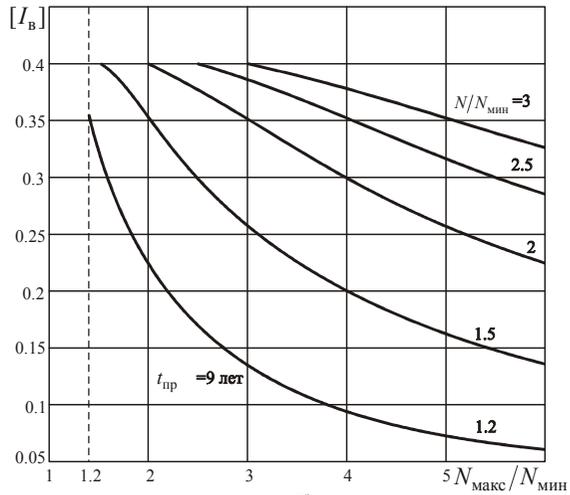
2.5.5. Иногда целесообразно использовать выражение, подобное (2.14), но не требующее знания абсолютной величины запаса:

$$[I_B] = \left[1 - \exp\left(-4 \frac{(N/N_{\text{мин}}) - 1}{(N_{\text{макс}}/N_{\text{мин}}) - 1}\right) \right] \exp(-0.1t_{\text{пр}}). \quad (2.19)$$

С применением (2.19) на рис. 2.4 приведены примеры расчетов допустимой интенсивности вылова для различных значений $N/N_{\text{мин}}$, $N_{\text{макс}}/N_{\text{мин}}$ и $t_{\text{пр}}$.



а)



б)

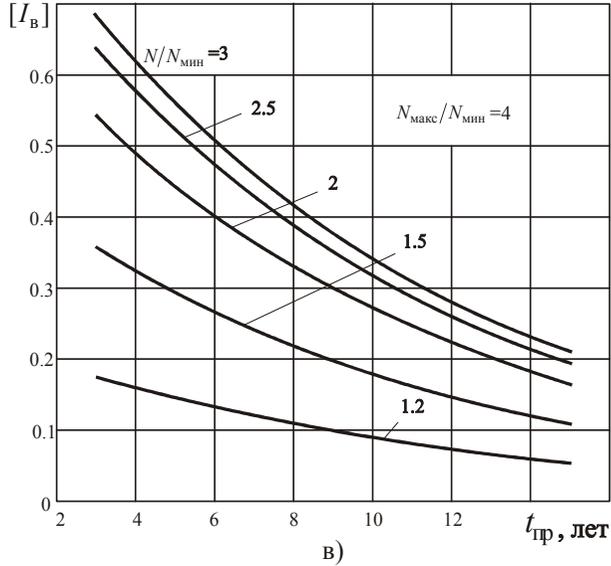


Рис 6.4. Зависимость допустимой интенсивности вылова $[I_B]$ от фактической N , минимальной $N_{мин}$ и максимальной $N_{макс}$ численности запаса, а также от предельного возраста рыбы $t_{пр}$.

При использовании рис. 2.4 учитывают, что соответствующие зависимости можно использовать только для $N/N_{мин}$ меньше или равно $N_{макс}/N_{мин}$. Это условие соблюдается практически для всех зависимостей на рис. 2.4.

Из выражения (2.19), в частности, следует, что допустимая интенсивность вылова для одного и того же объекта лова в большой степени зависит не только от фактической величины запаса, но и от диапазона его возможных колебаний.

2.5.5. Рассмотренные здесь расчетные формулы можно использовать не только для оценки допустимой интенсивности вылова, но и для оценки допустимой величины улова $[с]$ как произведения допустимой интенсивности вылова и величины промысловой части запаса.

Если принять $[I_B]$ в соответствии с выражение (2.19),
то

$$[c] = N \left[1 - \exp \left(-4 \frac{(N/N_{\text{мин}}) - 1}{(N_{\text{макс}}/N_{\text{мин}}) - 1} \right) \right] \exp(-0.1t_{\text{пр}}). \quad (2.20)$$

Подобную формулу для оценки $[c]$ можно получить, принимая за основу выражение (2.14).

Годовую величину запаса N определяют различными рассмотренными способами. С учетом структуры и состава формул (2.19) и (2.20) во многих случаях предпочтение следует отдавать способам оценки запаса через улов на промысловое усилие как, например, по формуле (2.11).

2.5.6. Область оценки допустимой интенсивности вылова и допустимого улова можно существенно расширить, если отношения запасов $N/N_{\text{мин}}$ и $N_{\text{макс}}/N_{\text{мин}}$ заменить соответствующими отношениями улова на промысловое усилие. Например, с учетом выражения (2.19) можно записать:

$$[I_B] = \left[1 - \exp \left(-4 \frac{(c_f/c_{f\text{мин}}) - 1}{(c_{f\text{макс}}/c_{f\text{мин}}) - 1} \right) \right] \exp(-0.1t_{\text{пр}}), \quad (2.21)$$

где c_f , $c_{f\text{макс}}$, $c_{f\text{мин}}$ - текущее, максимально наблюдаемое и минимально наблюдаемое значение улова на промысловое усилие.

Соответственно, с учетом (2.20)

$$[c] = N \left[1 - \exp \left(-4 \frac{(c_f/c_{f\text{мин}}) - 1}{(c_{f\text{макс}}/c_{f\text{мин}}) - 1} \right) \right] \exp(-0.1t_{\text{пр}}). \quad (6.22)$$

Но в соответствии с выражением (2.11) запас N можно также выразить через улов на промысловое усилие c_f . Используем приближенное и преобразованное выражение (2.11), считая, что отношение ρ_B/ρ_0 равно 1.

Тогда

$$[c] = \frac{c_f V_b N}{\varphi_{\text{НС}} \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{макс}}} g(l) S(l) d(l)} \left[1 - \exp \left(-4 \frac{(c_f / c_{f_{\text{мин}}}) - 1}{(c_{f_{\text{макс}}} / c_{f_{\text{мин}}}) - 1} \right) \right] \times \exp(-0.1 t_{\text{пр}}) \quad (2.23)$$

Минимально и максимально установленное промысловое усилие определяют по значениям промыслового усилия за несколько лет или по закону его распределения.

2.5.7. С учетом рассмотренных выше выражений для интенсивности вылова и величины допустимого улова запишем приближенные выражения зависимости этих показателей от величины запаса:

$$[I_b] = 1 - \exp(-k_1 N); \quad (2.24)$$

$$[c] = k_n N [1 - \exp(-k_1 N)], \quad (2.25)$$

где k_1 - коэффициент, который рассчитывают с учетом ранее приведенных зависимостей для определения $[I_b]$; k_n - коэффициент, соответствующий зависимости $[I_b]$ от предельного возраста рыбы в выражении (2.12).

Выражение (2.24) отвечает экспоненциальной кривой, которая асимптотически приближается к некоторому максимальному значению $[I_b]$, а (2.25) соответствует монотонно возрастающей кривой. Она при больших значениях N постепенно переходит в линейную зависимость между $[c]$ и N .

2.5.8. В теории рыболовства, в т.ч. в методах предосторожного подхода, номинальную интенсивность промысла (целевой ориентир по промысловой смертности) или минимально допустимую интенсивность промысла (границный ориентир по промысловой смертности) часто выражают через коэффициент естественной смертности M .

Различные авторы считают первый и второй показатели интенсивности промысла (обычно коэффициент промыс-

ловой смертности) равным от 0.3 до 1.2 значения M . При этом не всегда разделяют эти два показателя, но считают, что большие значения соответствуют рыбам с большей продолжительностью жизни.

Приближенное соотношение между рассматриваемыми показателями промысловой и естественной смертности можно установить, если считать, как в гл. 2, что $M = 3.5/t_{\text{пр}}$, а интенсивность вылова в соответствии с выражением (2.12), но без учета состояния запаса. Откуда соотношение между номинальной интенсивностью вылова (целевым ориентиром) и коэффициентом естественной смертности без учета состояния запаса имеет вид:

$$\frac{[I_{\text{в}}]}{M} = \frac{t_{\text{пр}} \exp(-0.1t_{\text{пр}})}{3.5}. \quad (2.26)$$

С учетом влияния состояния запасов, как следует из выражения (2.12),

$$\frac{[I_{\text{в}}]}{M} = \frac{k_N t_{\text{пр}} \exp(-0.1t_{\text{пр}})}{3.5}. \quad (2.27)$$

В соответствии с выражениями (2.26) и (2.27) рассматриваемая зависимость имеет максимум для рыб с предельным возрастом в улове 12-18 лет. Наибольшие значения отношения несколько превышают 1, а наименьшие (при большом предельном возрасте и при плохом состоянии запасов) имеют небольшую величину.

Обычно M считают равным минимальному значению этого показателя при вступлении рыбы в промысловое стадо. Фактически в расчет следует принимать среднее значение, которое обычно на 5-10% больше и зависит от плотности распределения размерного состава рыбы в водоеме и вида функции коэффициента естественной смертности от возраста.

2.5.8. В рассмотренных выше выражениях допустимая интенсивность вылова и допустимый улов зависит лишь от величины запаса или улова на промысловое усилие. Факти-

чески, на допустимые показатели должен влиять также темп изменения этих показателей, особенно при резком снижении запаса или улова на усилие. Оценим степень влияния темпа снижения, например запаса, на величину $[I_B]$ и $[c]$ коэффициентом

$$k_u = 1 - \exp\left(-4 \frac{N_{i+1}}{N_i}\right), \quad (2.28)$$

где N_i и N_{i+1} - величина запаса в годы i и $i+1$.

Выражение записано с учетом линейного уменьшения величины запаса.

Как следует из этого выражения, при стационарном изменении запаса величина коэффициента k_u , практически равна единице, а при значительном падении величины запаса приближается к нулю. В последнем случае, лов необходимо прекращать или резко снижать независимо от величины запаса.

Аналогичное выражение можно записать, если учитывать не величину запаса, а величину улова на промысловое усилие.

Более надежные результаты можно получить, если темп снижения запаса оценить с учетом величины запаса или улова на усилие за большее число лет, используя средние значения величин.

2.5.9. Еще одно уточнение оценки допустимого улова возможно, если интенсивность вылова и величину запаса считать случайными переменными, распределенными по нормальному закону. С учетом этого, например, правые части выражения (2.20) и (2.23) необходимо умножить на коэффициент, учитывающий случайный характер переменных:

$$k_c = 1 \pm u_{pc} (v_I^2 + v_N^2)^{1/2}, \quad (2.29)$$

где u_{pc} - квантиль для доверительной вероятности P ; v_I - коэффициент вариации величины интенсивности вылова; v_N - коэффициент вариации величины запаса.

Такое дополнение может снижать допустимую расчетную величину улова в среднем на 25-30%.

2.5.10. Дальнейшим совершенствованием управления запасами и рыболовством с применением биостатистических исследований является установление связи допустимого улова и экономических показателей промысла, например, прибылью, себестоимостью уровнем рентабельности.

Действительно, при невысоких уловах и большой себестоимости прибыль не получают. Промысел становится рентабельным только при достижении производительности лова и прибыли некоторого уровня.

Так, если задаться некоторой минимально допустимой прибылью $[\Pi]$, то можно определить минимально допустимый улов с учетом минимально допустимой прибыли:

$$[c]_n = \frac{[\Pi] + C_0}{\Pi - C_1}, \quad (2.30)$$

где Π - оптовая цена единицы улова; C_0 и C_1 - постоянные коэффициенты в выражении для себестоимости $C = C_0 + C_1 c$ (здесь c - величина улова).

Графическая интерпретация этого выражения представлена на рис. 2.5. На нем сравниваются между собой доход D , себестоимость улова C и прибыль для различной величины улова c и определяется минимально допустимый улов с учетом минимально допустимой прибыли $[\Pi]$.

Полученный из экономических соображений допустимый улов сравнивают с допустимым уловом $[c]$, найденным из промыслово-биологических соображений, например, по формулам (2.20) или (2.23). Если первый меньше второго, то за основной принимают допустимый улов из промыслово-биологических соображений. Если первый больше второго,

то, промысел, в принципе, нецелесообразен или принимают решение о выборе некоторого компромиссного варианта.

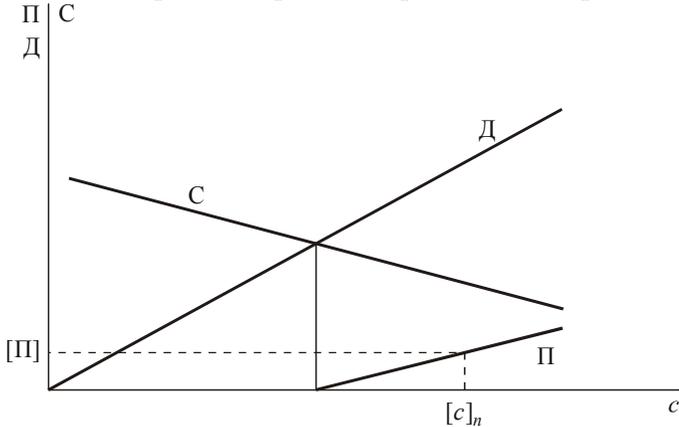


Рис. 2.5. Оценка минимально допустимого улова $[c]_n$ по минимально допустимой прибыли $[П]$.

Еще более наглядным и общим является решение, когда минимально допустимый улов рассчитывают с учетом не минимально допустимой прибыли, а минимально допустимого уровня рентабельности.

Как и во многих других случаях, привлечение экономических показателей часто позволяет ликвидировать неопределенность решения задачи и оценить целесообразность промысла.

2.5.11. В рассмотренных выше выражениях допустимая интенсивность вылова $[I_B]$ зависит как, собственно, от интенсивности промысла, так и от селективности рыболовства. Соответственно можно записать

$$[I_B] = [I_B]_{\text{НС}} \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{макс}}} g(l) \cdot S(l) \cdot d(l), \quad (2.31)$$

где $[I_B]_{\text{НС}}$ - интенсивность вылова при условно неселективном лове; $g(l)$ - плотность распределения облавливаемых

скоплений; $S(I)$ - функция кривой селективности рыболовства или способа лова; I_{\max} и I_{\min} - максимальный и минимальный размер рыб в облавливаемых скоплениях.

С учетом выражения (2.31) можно задавать не $[I_B]$, а фактическую интенсивность промысла, которая зависит только от промыслового усилия. Различие $[I_B]$ и $[I_B]_{\text{НС}}$ зависит от уровня селективности и, следовательно, значения интеграла в выражении (2.31). Значение интеграла, определяющее влияние селективности, практически изменяется в диапазоне от 0.5 до 0.9 и даже более, и существенно влияет на фактическое допустимое промысловое усилие.

2.5.12. Если каким-либо способом допустимый улов определен, то необходимо знать, какими средствами лова (промысловым усилием) его можно получить, например, сколько для этого необходимо промысловых единиц.

Запишем в обобщенном виде основное уравнение лова и промысла рыбы для определения массы улова однородных промысловых единиц n_c , работающих в одинаковых условиях, когда отсутствует внутренняя и внешняя неравноценность промыслового усилия:

$$Y = Y_v V = \rho \phi V = \rho \phi V_1 n_c t, \quad (2.32)$$

где Y_v - улов на промысловое усилие, выраженное через обловленное пространство водоема; ρ - плотность концентрации рыбы в обловленном объеме водоема; ϕ - коэффициент уловистости орудия лова; V - общий обловленный всеми судами объем водоема за рассматриваемое время; t - время производительной части лова; V_1 - обловленный каждой промысловой единицей объем в единицу времени производительной части лова (промысловая мощность по обловленному объему).

В выражении обловленный в единицу времени обловленный объем водоема и коэффициент уловистости зависят от некоторых параметров лова. Так, из математической мо-

дели производительности разноглубинного тралового лова следует, что обловленный объем и коэффициент уловистости являются функцией мощности главного двигателя судна, горизонтального и вертикального раскрытия устья трала, скорости траления, размеров и размерного состава облавливаемых скоплений и т.д.

При работе неоднородных промысловых единиц, работающих в разных условиях и разное время, когда наблюдается, по крайней мере, внешняя неоднородность показателей промыслового усилия:

$$Y = \sum \rho_i \varphi_i n_{ci} t_i V_{li} . \quad (2.33)$$

В формуле (2.33) каждое из слагаемых суммы равно улову одной из групп однородных промысловых единиц, работающих в одинаковых условиях.

Аналогично можно записать и рассмотреть выражения для лова и промысла, если обловленным пространством считать не обловленный объем водоема, а обловленную площадь водоема, обловленный объем или обловленную площадь скопления, учесть селективность рыболовства и вероятностный характер процессов рыболовства.

Приравнивая улова Y и допустимый улов $[Y]$, можно, например, определить количество промысловых единиц различных видов, необходимых для получения допустимого улова.

2.5.13. Выражения для оценки допустимой интенсивности вылова $[I_v]$ и допустимого улова $[c]$, рассмотренные в этом параграфе, являются простыми и понятными для анализа взаимосвязи основных показателей рыболовства. Еще большее значение они имеют для оценки допустимого улова при минимальной информации о состоянии запаса. При изменении величины запаса расчетным путем несложно оценить новую допустимую интенсивность вылова и допустимый улов.

2.5.14. Из рассмотренных зависимостей для определения допустимой интенсивности вылова $[I_v]$ следует, что

наиболее определенной является зависимость этой величины от предельного возраста рыбы. При отклонении запасов от некоторого среднего значения, особенно при их большом уменьшении, на $[I_B]$ начинает влиять величина запасов. Степень влияния величины запасов на $[I_B]$ можно учесть сравнительно точно, особенно с учетом связи запаса и улова на промысловое усилие.

Таким образом, при многолетнем промысле для рыб данного вида и предельного возраста даже при существенных колебаниях состояния запасов и улова на промысловое усилие $[I_B]$ изменяется обычно в сравнительно узком диапазоне значений. Относительная величина такого изменения особенно мала для рыб с малой продолжительностью жизни, когда $[I_B]$ превышает 0,5-0,6.

Эти соображения позволяют во многих случаях использовать оценку $[I_B]$ для определения величины запаса N , если получены данные о годовом улове c . Для этого следует предположить, что существовавшая в этот год интенсивность вылова близка к $[I_B]$. Тогда текущая величина запаса

$$N = c/[I_B]. \quad (2.34)$$

Величину $[I_B]$, естественно, определяют с учетом фактического состояния запасов, при необходимости корректируя его значения, в том числе принимая во внимание величину промыслового усилия и улов на промысловое усилие. При этом учитывают, что чем хуже состояние запаса и быстрее его падение, тем ближе величина $[I_B]$ в выражении (2.34) к его максимальному значению для заданного предельного возраста рыбы. Соответственно, тем меньше расчетная величина запаса и меньше допустимый уровень его эксплуатации.

Можно определить не только запас, но и точность его оценки с учетом погрешностей определения $[I_B]$ и c . При достаточно надежной оценке улова погрешность определения запаса обычно не превышает 30-35% для рыб с предель-

ным возрастом больше 8-10 лет и 50-55% при меньшей предельном возрасте рыбы.

2.5.14. Относительная стабильность $[I_B]$ в условиях относительной стабильности запаса позволяет приближенно определять неучтенный улов $c_{\text{ну}}$ при известном учтенном улове c_y .

Предположим, запас N определили каким-то иным способом, например, одним из биопромысловых способов. Тогда интенсивность вылова с учетом учтенного улова должна быть примерно равна

$$I_B = c_y / N. \quad (2.35)$$

Но с учетом учтенного и неучтенного улова интенсивность вылова должна быть примерно равна допустимой интенсивности вылова $[I_B]$. Следовательно, можно записать

$$[I_B] = (c_y + c_{\text{ну}}) / N. \quad (2.36)$$

Сравнивая два последних выражения, получим:

$$c_{\text{ну}} = c_y \left(\frac{[I_B]}{I_B} - 1 \right). \quad (2.37)$$

Неучтенный улов от величины запаса с учетом зависимости (2.37) составляет

$$c_{\text{ну}} = [I_B]N - c_y. \quad (2.38)$$

2.5.15. Представляют интерес соотношения, учитывающие, что часть запаса недоступна. Предположим, каким-либо способом определена доступная N_d и недоступная часть $N_{\text{нд}}$ запаса. Известен также улов c_d , полученный из доступной части запаса. Тогда недополученный улов из недоступной части улова составляет

$$c_{\text{нд}} = (N_d + N_{\text{нд}})([I_B] - c_d). \quad (2.39)$$

Недополученный улов можно оценить также, если учесть, что часть улова из доступной части не учтена, как в п. 2.5.14.

2.5.16. Установленные зависимости между показателями интенсивности вылова, запаса, допустимого улова, возможность оценки запаса элементарным способом позволяют прогнозировать запас и допустимый лов с применением рассмотренных в этом параграфе методов и расчетных формул с учетом текущего состояния запасов и общебиологических зависимостей. В отличие от других методов ретроспективного анализа и прогнозирования процессов рыболовства, например, в рамках предосторожного подхода, процедура решения основана на использовании нескольких однотипных и простых математических моделей с использованием доступных исходных данных.

Уточнению прогнозов способствует также нестрогий учет таких показателей, как динамика пополнения, промысловое усилие и улов на усилие, размерно-видовой состав улова и запаса, условий внешней среды и т.д. При очень большой обычно погрешности оценки допустимой интенсивности вылова и допустимого улова, высокой случайности процессов, такой подход к задачам управления рыболовством имеет большие преимущества.

2.6. Определение допустимой интенсивности вылова с учетом общей убыли поколения промыслового стада

2.6.1. Рассмотрим способ приближенной оценки допустимого мгновенного коэффициента промысловой смертности при уравновешенном состоянии запаса и промысла. Используем для этого общие закономерности убыли поколения промыслового стада с учетом постоянной и не зависящей от возраста промысловой и естественной смертности.

Запишем выражение для оценки убыли поколения от величины пополнения промыслового стада R до практически полного его исчезновения в предельном возрасте $t_{пр}$:

$$N_t = R \cdot \exp[-(F + M)(t_{\text{пр}} - t_{\text{п}})], \quad (2.40)$$

где $t_{\text{п}}$ - возраст вступления рыбы в промысловое стадо; F и M - соответственно коэффициенты мгновенной промысловой и естественной смертности в возрасте от $t_{\text{п}}$ до $t_{\text{пр}}$; N_t - численность популяции в возрасте $t_{\text{пр}}$.

Из уравнения (2.40) можно получить выражение для оценки допустимого коэффициента мгновенной промысловой смертности при заданной начальной и конечной численности популяции:

$$[F] = -\frac{\ln(N_t/R)}{t_{\text{пр}} - t_{\text{п}}} - M. \quad (2.41)$$

Выражение (2.41) преобразуем с учетом того, что числитель выражения в среднем равен (-4,6):

$$[F] = \frac{4.6}{t_{\text{пр}} - t_{\text{п}}} - M. \quad (2.42)$$

Ранее было показано, что приближенно $M = 2.2/(t_{\text{пр}} - t_{\text{п}})$. Тогда

$$[F] = \frac{2.4}{t_{\text{пр}} - t_{\text{п}}}, \quad (2.43)$$

или

$$[F] = \frac{2.4}{t_{\text{пр}} \left(1 - \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{пр}}}\right)}. \quad (2.44)$$

2.6.2. В соответствии с рассмотренным способом отношение допустимого коэффициента мгновенной промысловой смертности к коэффициенту мгновенной естественной смертности при любом предельном возрасте рыбы одинаково

примерно равно 1.1. Эта величина близка к максимальному значению этого отношения, полученного в 6.5 более точным способом. Оно близко к значению такого отношения, которое другим способом получил П.В. Тюрин.

2.6.3. В расчет обычно принимают предельный возраст рыбы в промысловой популяции. Иногда предельный возраст рыбы заменяют некоторым меньшим возрастом, чтобы оценить, например, как влияет этот показатель на коэффициент использования биомассы поколения или улов на единицу пополнения промыслового стада и т.д.

2.7. Определение допустимой интенсивности вылова с учетом допустимого прилова рыб непромысловых размеров

2.7.1. Первоначально этот способ разработан для обоснования допустимого прилова рыб непромысловых размеров. Однако его можно использовать для определения допустимой интенсивности вылова, если задан допустимый прилов рыб непромысловых размеров.

Способ основан на предположении, что можно вылавливать некоторую часть рыб непромысловых размеров. Однако их распределение в облавливаемых скоплениях за ряд лет с учетом вылова не должно значительно отличаться от распределения таких рыб без учета вылова. Численность рыб непромысловых размеров в первом приближении считают равной численности пополнения промыслового стада.

2.7.2. Предположим, что среднее число рыб пополнения за n лет - $R_{\text{сп}}$, а исправленная выборочная дисперсия - S . Тогда с учетом методов дисперсионного анализа различие между распределением числа рыб непромысловых размеров за n лет с изъятием и без изъятия рыб незначимо, если прилов рыб непромысловых размеров

$$n_{\text{нп}} = \frac{a(N_{\text{нп}} \sqrt{2 - a} - a)}{I_{\text{в}}(1 - a^2)}, \quad (2.45)$$

где $N_{\text{нп}}$ - доля рыб непромысловых размеров в облавливаемом скоплении; $I_{\text{в}}$ - интенсивность вылова; a - коэффициент.

Для обычных значений доверительной вероятности $\beta = 0.95$ и числа рассматриваемых лет $n = 5 - 10$ коэффициент a в среднем равен $0.45S/R_{\text{ср}}$.

С учетом выражения (2.45) получим

$$[I_{\text{в}}] = \frac{a(N_{\text{нп}} \sqrt{2-a} - a)}{[n_{\text{нп}}](1-a^2)}. \quad (2.46)$$

Из выражения (2.46) следует, что допустимая интенсивность вылова $[I_{\text{в}}]$ зависит от размаха колебаний пополнения, допустимого прилова рыб непромысловых размеров и доли рыб непромысловых размеров в облавливаемых скоплениях. Однако последняя величина зависит от промысловой меры на рыбу $l_{\text{нп}}$ и размерного состава облавливаемых скоплений $g(l)$:

$$N_{\text{нп}} = \int_{l_{\text{мин}}}^{l_{\text{нп}}} g(l) dl. \quad (2.47)$$

Зависимость $[I_{\text{в}}]$ от $n_{\text{нп}}$ оказана на рисунке 6.6.

С применением выражения (2.45) и рис. 2.6 можно определить так же, как зависит допустимый прилов рыб непромысловых размеров от интенсивности вылова. Это влияние особенно велико при большой интенсивности вылова.

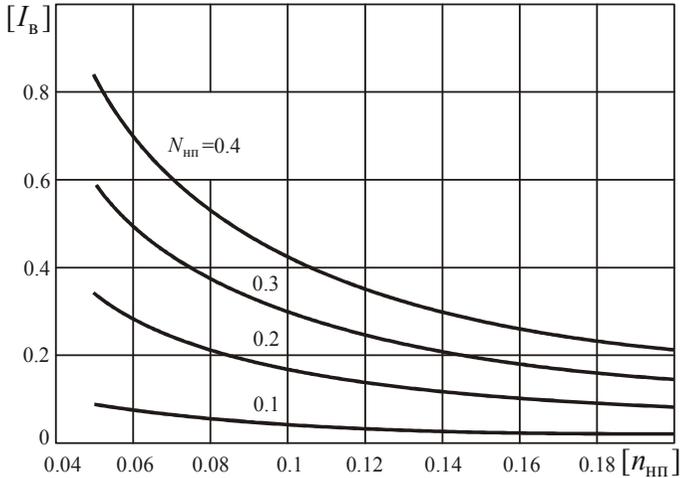


Рис 2.6 Зависимость допустимой интенсивности вылова $[I_B]$ от допустимого прилова рыб непромысловых размеров $[n_{нп}]$ при $S/R_{ср} = 0,2$.

2.7.3. Применяя рассмотренный способ для оценки допустимой интенсивности вылова необходимо учитывать следующее:

- как и в основных уравнениях селективности, $[n_{нп}]$ и $I_{нп}$ взаимосвязаны;
- область реальных значений $N_{нп}/I_B$ располагается от 0,3-0,5 для рыб с очень коротким жизненным циклом, до 1,5-2,0 - для рыб с длинным жизненным циклом;
- обычно значения $[n_{нп}]$ равны 0,05-0,1;
- точность результатов расчетов выше для рыб с относительно коротким жизненным циклом и ниже для рыб с длинным жизненным циклом;
- точность расчетов можно повысить, если вместо интенсивности вылова I_B принять интенсивность общей смертности $I = I_B + I_M - I_B I_M$, т.е.

учесть интенсивность естественной смертности I_M .

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности определения относительной величины запасов по величине улова и улова на промысловое усилие?
2. Каковы особенности определения относительной величины запасов по величине улова и возрастному составу стада?
3. В чем состоит метод учетных и промысловых съемок для оценки запасов промысловых рыб?
4. Какие уточнения и дополнения внесены в последнее время в метод учетных и промысловых съемок?
5. Перечислите особенности оценки запасов гидроакустическими методами.
6. В чем заключается сущность метода промыслово-акустических съемок для оценки запасов?
7. Какие преимущества имеет метод оценки запасов с использованием промысловых и промыслово-акустических съемок, а также математических моделей для определения коэффициента уловистости?
8. Каковы особенности оценке запасов проходных и полупроходных рыб в реках и прибрежных районах моря по результатам лова?
9. Как оценить запасы с учетом улова и предельного возраста рыбы?
10. Перечислите особенности оценки запасов методом мечения рыб.
11. Охарактеризуйте методы оценки запасов по результатам наблюдений.
12. Дайте общую характеристику методов биопромысловой статистики.
13. Охарактеризуйте биостатистический метод оценки запасов А.Н. Державина и его последователей.

14. Чем отличается виртуальная популяция от фактической популяции? В каких методах рассматривают виртуальную популяцию?
15. Почему методы контрольных карт и последовательного анализа можно отнести к биопромышленным методам?
16. Охарактеризуйте метод Делури для оценки величины запасов по результатам анализа улова на промысловое усилие.
17. Чем отличается метод оценки величины запасов, изложенный в 2.3.2, от метода, предложенного Делури?
18. Опишите метод оценки допустимой интенсивности вылова Ф.И. Баранова.
19. Охарактеризуйте метод оценки допустимой интенсивности вылова с учетом состояния запасов и предельного возраста рыбы в п. 2.5. Какие основные задачи можно решать с применением этого метода?
20. Опишите метод определения допустимой интенсивности вылова с учетом общей смертности поколения промыслового стада.
21. Опишите метод определения допустимой интенсивности вылова с учетом допустимого прилова рыб непромысловых размеров и промысловой меры на рыбу.