

Оценка характеристик объекта лова и параметров естественного запаса

Канд. техн. наук Я.М. Гукало – КГТУ

Контингент естественного запаса

Естественным запасом называют рыбное население данного вида, существующее в изолированном от воздействия человека водоеме. В таком водоеме, как известно, при определенных условиях кривая смертности поколения рыб совпадает с кривой населения. Среди необходимых условий Ф.И. Баранов (*Баранов Ф.И. О наиболее рентабельном размере рыб// «Бюллетень рыбного хозяйства», 1925, № 9*) назвал изолированность водоема; отсутствие эпидемий, резких колебаний гидрологических факторов и других явлений, вызывающих изменения в составе рыбного населения. Однако естественная убыль рыб в стаде зависит не только от внешних условий. Она определяется также и тем, в каком состоянии находятся особи, т.е. зависит от особенностей развития рыбы в онтогенезе. В этой связи необходимо уточнить границы контингента естественного запаса.

Известно, что в своем развитии организм рыбы претерпевает ряд превращений. Из икринки появляется личинка, затем вырастает малек и, наконец, формируется взрослая особь. Изучая закономерности развития рыб, В.В. Васнецов (*Васнецов В.В. Этапы развития костистых рыб// Очерки по общим вопросам ихтиологии, 1953. С. 207–217*) установил, что этот процесс протекает не только постоянно и непрерывно, но и прерывисто, скачкообразно. Интервалы относительно стабильного развития были названы ученым этапами. От момента оплодотворения икринки до наступления половой зрелости подросшей особи автор насчитал 11 этапов. Каждый этап характеризуется различиями в физиологии организма, количестве и качестве потребляемых кормов, в темпе роста особей. Очевидно, что убыль рыб в стаде в результате болезней и хищничества также следует рассматривать поэтапно.

Зачастую, когда процесс развития состоит из этапов, ряд соседних этапов объединяют в так называемые «периоды развития». Под периодом обычно понимают некоторый законченный процесс, объединяющий несколько схожих между собой этапов. При рассмотрении вопроса о периодизации жизни рыб С.Г. Крыжановский (*Крыжановский С.Г., Дислер Н.Н., Смирнова Е.Н. Эколого-морфологические закономерности развития окуневых рыб// Труды Института морфологии животных им. А.М. Северцева АН СССР. Вып. 10. М.: Изд. АН СССР, 1953. С. 3–138*) называет четыре периода: эмбриональный; личиночный; мальковый; половозрелый. Последний период характеризует взрослых особей, он начинается при достижении рыбами половой зрелости.

Рассматривая динамику численности рыб, последний период их жизни целесообразно представить в расширенном виде, включив в него тех рыб, которые хотя и не достигли половой зрелости, но физиологически вполне сформировались как взрослые особи. В пользу такого расширения можно привести следующие аргументы. Во-первых, еще задолго до наступления половой зрелости подростки рыбы физиологически не отличаются от взрослых особей, и относить их к разряду мальков нецелесообразно. Во-вторых, полагать момент достижения рыбой половой зрелости началом периода методологически неверно, поскольку этот момент не является даже границей этапа. На это указывал в своей работе В.В. Васнецов (1953): «Наступление половой зрелости не будет границей этапа, а происходит на этапе, при наступлении которого в организме рыбы происходят какие-то эколого-физиологические особенности, обуславливающие возможность полового созревания». В-третьих, молодь взрослых рыб использует ту же кормовую базу, что и зрелые рыбы, и поэтому ее как потребителя кормовой базы удобно объединить со зрелыми рыбами.

Термин «молодь» широко используется и в обиходе, и в литературе. Но понимается он не всегда однозначно. Рыбаки чаще всего называют молодью тех рыб, возраст или размер которых еще не

достиг разрешенной к вылову величины. В литературе этот термин используется в более широком смысле. По определению С.Г. Крыжановского (*Крыжановский С.Г. Материалы к развитию сельдевых рыб// Труды Института морфологии животных им. А.М. Северцева АН СССР. Вып. 17. М.: Изд. АН СССР, 1956. 255 с.*), «молодь рыб обозначают предшественника следующего за ним момента». Например, в статье С.Г. Крыжановского, Н.И. Дислера и Е.Н. Смирновой (1953, с. 10) фраза: «Высокая смертность молоди в период после выплывания ее из оболочки» указывает, что этим термином обозначена личинка на ранней стадии развития. В работе Г.П. Низовцева, М.В. Ковцова и В.Л. Третьяка (*Низовцев Г.П., Ковцова М.В., Третьяк В.Л. Биологическое обоснование промысловой меры аркто-норвежской трески и пикши// «РХ», 1990, № 9. С. 25–31*) обращено внимание на необходимость более четкого определения понятия «молодь рыбы» и предложено к «молоди» относить особей, не достигших длины, с которой начинается половое созревание в популяции. Если под «молодь» понимать ближайших предшественников взрослых рыб, то в целом это согласуется с обиходным выражением рыбаков и не выходит за рамки определения С.Г. Крыжановского. Вместе с тем теперь этот термин приобретает конкретное наполнение, и использование его в других случаях требует дополнительного пояснения. Например: «молодь личинки», «молодь малька».

Период, в котором молодь зрелой части стада объединена с половозрелыми особями, можно назвать «периодом зрелости рыб», имея в виду физиологическую зрелость входящего в него контингента. С известным приближением можно полагать, что в границах периода зрелости весь контингент находится в единой пищевой нише. В этом случае рыб, относящихся к этому периоду, можно характеризовать единым темпом роста и единым коэффициентом естественной смертности.

Возрастные границы естественного запаса

Важно четко обозначить возрастные границы естественного запаса рыб – потребителей кормовой продукции водоема. Прежде всего следует установить границу между периодом зрелости рыб и мальковым периодом. Для этого удобно воспользоваться характеристикой изменения массы рыбы в зависимости от ее возраста. Типичная характеристика изменения относительной массы рыбы с возрастом (на примере роста камбалы и трески) представлена на рис. 1. Данные по камбале и треске заимствованы из работ Р. Бивертон и С. Холта (*Бивертон Р., Холт С. Динамика численности промысловых рыб. М.: Пищевая промышленность, 1969. 248 с.*) и А.И. Трещева (*Трещев А.И. Научные основы селективного рыболовства. М.: Пищевая промышленность, 1974. 446 с.*).

Как видно из рис. 1, общее течение роста массы камбалы представляет собой S-образную кривую, включающую в срединной своей части протяженный линейный участок. На линейность характеристики роста массы рыбы с возрастом обращали внимание в своих работах Ф.И. Баранов (1925), Р. Бивертон и С. Холт (1969) и др. Анализируя характер роста астраханского леща и куринской севрюги (данные получены К.К. Терещенко и А.Н. Державиным), Ф.И. Баранов пишет: «При этом намечается любопытная зависимость: ежегодный прирост для леща между 2 и 10 годами одинаков и равен 220 г, для севрюги между 10 и 30 годами – 720 г» (*Баранов Ф.И. Избранные труды. Т. 3. М.: Пищевая промышленность, 1971. С. 68*).

Для того чтобы обозначить границу между мальковым периодом и периодом зрелости рыбы, используем следующий формальный прием. Линейную часть характеристики, изображенной на рис. 1, мысленно продлим до пересечения с осью абсцисс и в месте их пересече-

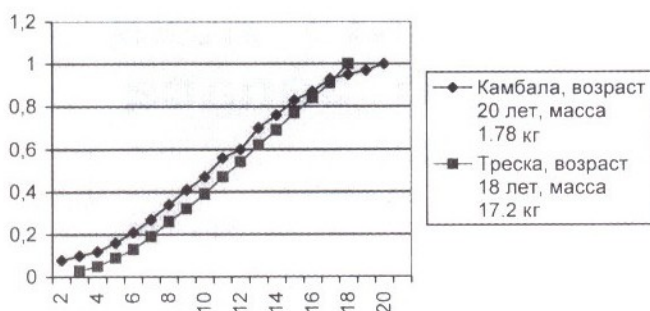


Рис. 1. Изменения относительной массы камбалы и трески с возрастом

чения получим точку t_0 , которая и обозначит границу между мальковым периодом и периодом зрелости. Для камбалы эта граница соответствует возрасту $t_0 = 3$ года, для трески — $t_0 = 4,5$ года. Возраст t_0 можно назвать минимальным возрастом рыбной молоди, или возрастом поколения, которое считают пополнением естественного запаса рыб в водоеме.

Граница естественного запаса, с другой стороны, представлена предельным возрастом рыб в стаде — t_x . В зависимости от выбранной модели стада этот возраст определяется по-разному. По мнению П.В. Тюрина (Тюрин П.В. Биологические обоснования регулирования рыболовства на внутренних водоемах. М.: Пищепромиздат, 1963. 120 с.), предельным следует называть тот возраст, в котором от естественных причин погибает последний представитель рассматриваемого поколения. При определении этого возраста автор рекомендует учитывать даже археологические данные. На практике его приравнивают к возрасту наиболее старого представителя данного вида, когда-либо попадавшего в улов. В работе Р. Бивертон и С. Холта (1969) для вычислений роста рыбы используется известное уравнение Бергаланфи, в котором продолжительность жизни рыбы представлена равной бесконечности. Авторы пишут: «Допущение равенства предельного возраста бесконечности является, вероятно, наиболее приемлемым, если считать, что естественная смертность пропорциональна возрасту». Иной подход к определению предельного возраста рыб подсказан Ф.И. Барановым: «Говоря о предельном возрасте рыб, мы не столько интересуемся тем не осуществляющимся на деле пределом долголетия, до которого могла бы дожить рыба при отсутствии катастроф, сколько тем практическим пределом жизни рыб, который определяется всей суммой наличных условий жизни» (Т. 3. С. 65).

Если рекомендацию Ф.И. Баранова принять за основу, то предельным следует назвать возраст того поколения рыб, численность которого в стаде под действием внешних условий, в том числе и вылова, снизилась до некоторой определенной (нормативной) величины от численности пополнения. В качестве нормативной величины снижения численности поколения удобно назначить небольшую долю λ от численности пополнения N_0 . Эта доля, по-видимому, должна быть такова, чтобы рыб предельного возраста t_x можно было с достаточной надежностью обнаружить в уловах, но их число N_x при этом должно быть минимальным. Рыбы, чей возраст старше условно-предельного, также могут попасть в улов, однако они там составляют ничтожную часть от общего числа и промысел на их вылов не нацелен.

Итак, одной из границ периода зрелости соответствует момент t_0 , в который малек переходит в разряд молоди, а другой — момент t_x , когда численность поколения рыб под воздействием внешних условий снижается до условно-нормативной величины $N_x = \lambda N_0$.

Значение λ следует выбирать, исходя из особенностей данной популяции и, главным образом, из необходимости контроля над численностью самого старшего поколения рыб в составе улова. Для популяций, характеризующихся длительным циклом жизни рыб и плавным снижением численности поколения с возрастом, значение λ в первом приближении можно выбрать относительно небольшим, например, 0,01–0,05. Для рыб с коротким жизненным циклом, учитывая резкое снижение численности поколения с возрастом, значение λ целесообразно увеличить от 0,05 до 0,1. Указанные здесь диапазоны значений λ следует принять как рекомендацию, а уточненные их значения можно выбрать на основе статистики вылова.

Для случая, когда предельный возраст рыб нельзя определить опытным путем, можно использовать следующий формальный прием. Продлим линейный участок характеристики роста массы рыбы (см. рис. 1) до пересечения его с верхней асимптотой и в месте пересечения получим точку, абсцисса которой и определит искомую величину.

Коэффициент естественной смертности рыб

Если полагать, что убыль поколения в пределах периода зрелости пропорциональна численности рыб, то относительную численность поколения рыб для любого момента t в выбранном временном диапазоне можно определить из выражения:

$$N/N_0 = e^{-M(t-t_0)}, \quad (1)$$

где M — коэффициент естественной смертности рыб в период зрелого возраста;

t — время в пределах периода зрелости рыб ($t_0 \leq t \leq t_x$).

Приведенное выражение позволяет достаточно просто вычислить величину коэффициента естественной смертности поколения рыб M . Для этого необходимо определить возрастной диапазон периода зрелости ($t_0 \div t_x$), характеризующий данный вид рыб в водоеме, и задать значение доли снижения численности поколения λ .

Например: из рис. 1 определим границы диапазона зрелости для камбалы. Для этого мысленно продлим линейную часть характеристики до пересечения ее с осью абсцисс и получим точку $t_0 = 3$ года. Предельный возраст камбалы $t_x = 18$ лет. Условимся, что нормативная доля снижения численности поколения рыб в течение периода зрелости равна 3 % ($\lambda = 0,03$). Подставив эти данные в выражение (1), вычислим коэффициент естественной смертности для камбалы:

$$M = \frac{-\ln(\lambda)}{t_x - t_0} = \frac{-\ln(0,03)}{18 - 3} = 0,234$$

Задав, к примеру, величину $\lambda = 0,03$ и определив границы периода зрелости для трески $t_0 = 4,5$ года и $t_x = 18$ лет, получим $M = 0,26$.

Таким образом, определив границы периода зрелости рыбы t_0 и t_x и задав норматив снижения численности поколения рыб λ , можно однозначно определить для них значение коэффициента естественной смертности.

Численность естественного запаса с учетом флюктуации пополнения

Численность пополнения естественного запаса рыб под влиянием внешних факторов может год от года существенно изменяться. Для определения численности естественного запаса рыб с учетом флюктуации годового пополнения воспользуемся методологией определения численности популяции, изложенной в работе Р. Бивертон и С. Холта (1957. С. 27).

Положим, что в составе естественного запаса возраст старшего поколения составляет целое число лет t_j . В этом случае контингент запаса составят L поколений, соответственно, равных числу лет периода зрелости рыб. Величину пополнения j -го года N_j выразим через среднееголетнее значение численности пополнения N_S и коэффициент пропорциональности k_j : $N_j = k_j \cdot N_S$. В этом случае общую численность естественного запаса можно представить в виде:

$$N = N_S \cdot e^{-M \cdot \psi} \cdot \sum_{j=0}^{L-1} k_j \cdot e^{-M \cdot j}, \quad (2)$$

где j — целое число лет жизни рыб в пределах периода зрелости, $0 \leq j \leq (t_x - t_0) = L$;

ψ — относительный промежуток времени в долях года; $0 \leq \psi \leq 1$.

Это выражение позволяет оценить численность естественного запаса с учетом флюктуации пополнения каждого входящего в запас поколения рыб.

Масса естественного запаса

При решении ряда задач характеристику изменения численности и массы взрослого поколения рыб в онтогенезе целесообразно представить в безразмерных координатах. Для этого на оси ординат отложим величины относительной численности поколения рыб N/N_0 и относительной массы особи G/G_m (G_m — масса особи в возрасте t), а на оси абсцисс — координату φ , которую в физическом смысле можно рассматривать как безразмерное время в пределах периода зрелости вида. Текущее значение φ определяется выражением:

$$\varphi = M \cdot (t - t_0) \quad (3)$$

Координата φ изменяется от нуля на нижней границе диапазона периода зрелости до значения φ_m на верхней его границе. Значение φ_m однозначно определяется тем, какова доля снижения численности рыб старшего поколения λ при достижении ими предельного возраста:

$$\varphi_m = -\ln \lambda \quad (4)$$

Если, например, принять $\lambda = 0,01$, то из выражения (4) следует, что $\varphi_m = 4,6$; если $\lambda = 0,05$, $\varphi_m = 3,0$; если $\lambda = 0,1$, то $\varphi_m = 2,3$.

Характеристики взрослого стада в безразмерных координатах приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, относительная численность поколения с ростом значения φ снижается от 1 до величины λ , а ее текущее значение определяется как $N/N_0 = e^{-\varphi}$.

На этом же рисунке приведена характеристика изменения относительной массы рыбы в пределах диапазона зрелости особи. Принято, что с ростом φ относительная масса G/G_m линейно возрастает от 0 до 1. Допущение о линейном приросте массы для некоторого возрастного диапазона приемлемо для многих видов промысловых рыб. В первую очередь это относится к долгоживущим рыбам. В популяциях таких рыб зачастую уже не имеется сколько-нибудь значительного числа особей старших возрастов, темп роста которых замедлен в связи с их старением. И хотя в водоеме такие рыбы существовать могут, но в уловах они практически не встречаются.

Изменение относительной массы рыбы в пределах границ периода зрелости ($0 \leq \varphi \leq \varphi_m$) можно представить в виде пропорции: $G/G_m = \varphi/\varphi_m$, где G – текущее значение массы рыбы, а G_m – максимальная масса рыбы в конце периода зрелости.

Изменение массы поколения рыбного стада P в границах периода зрелости определяется выражением:

$$P = N_0 \cdot G_m \cdot \frac{\varphi}{\varphi_m} \cdot e^{-\varphi} \quad (5)$$

В стаде рыб, обладающих коротким жизненным циклом, может сохраниться достаточное количество особей старших возрастов, отличающихся замедленным ростом вследствие возраста. В этом случае, учитывая различный темп роста рыбы с возрастом, характеристику роста массы особи можно упрощенно представить ломаной линией.

Минимальный промысловый возраст рыбы

Минимальный промысловый возраст рыбы t_r определяют по известному условию кульминации биомассы поколения и, соответственно, получению максимальной величины уравновешенного годового улова. Такой подход при определении минимального промыслового возраста рыб предлагал Ф.И. Баранов (1925). Такой же подход при определении промысловой меры на рыбу рекомендовали в своих работах П.В. Тюрин (Тюрин П.В. *Биологические обоснования оптимального коэффициента вылова и допустимого предела прилова молоди ценных рыб*// Труды ВНИРО, 1967. Т. 62. С. 33–50), В.Н. Лукашов (Лукашов В.Н. *О наименьшей промысловой мере на рыбу*// «РХ», 1964, № 11. С. 27–30) и М.М. Розенштейн и В.В. Толмачев (Розенштейн М.М., Толмачев В.В. *К расчету наименьшей промысловой меры на рыбу*// «РХ», 1971, № 1. С. 45–46).

Взяв производную от выражения (5) и приравняв ее к нулю, найдем, что масса поколения достигает экстремума при $\varphi = 1$. Найденное значение аргумента φ подставим в выражение (3) и получим формулу для определения минимального возраста особи, начиная с которого рыбу разрешено вылавливать.

$$t_r = t_0 + M^{-1} \quad (6)$$

Минимальный промысловый возраст особи является также и возрастом пополнения промыслового стада.

Приняв, к примеру, коэффициент снижения численности поколения рыб за период зрелости $\lambda = 0,03$ и подставив в выражения (1) и (6) соответствующие данные, найдем, что минимальный промысловый возраст t_r для камбалы равен 7,8 года; для трески – 6,4 года.

Иной подход при определении минимального промыслового возраста рыбы изложен в работах Л.С. Бердичевского (Бердичевский Л.С. *Биологическое обоснование регулирования северокаспийского рыболовства*. Изд. журнала «Рыбное хозяйство», 1958. 68 с.); Л.И. Семенов и И.Ф. Ковтуна (Семенов Л.И., Ковтун И.Ф. *О биологическом обосновании промысловой меры на бычка-кругляка*// «РХ»,

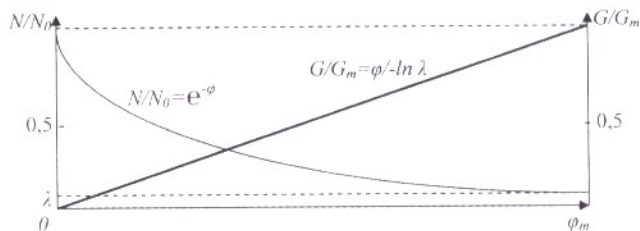


Рис. 2. Характеристики относительной численности поколения рыб и массы особи в границах периода зрелости

1974, № 1. С. 11–14); А.С. Лабецкого (Лабецкий А.С. *О минимальной промысловой мере на охотскую сельдь*// «РХ», 1975, № 4. С. 14–16) и других исследователей. В этих работах минимальный промысловый возраст особей связан с проблемой воспроизводства рыбного стада. Предполагается, что воспроизводство может быть обеспечено, если промысел будет базироваться на половозрелой части стада. И промысловой мерой на рыбу должен быть принят тот возраст (размер) особей, которые уже отнерестились 1–3 раза.

Известно, что половая зрелость рыб тесно связана с продолжительностью их жизни. Чем меньше продолжительность жизни, тем раньше наступает половая зрелость. По наблюдениям А.В. Лукина (1949), чаще всего продолжительность жизни рыбы втрое превышает возраст полового созревания. С учетом этого наблюдения минимальный промысловый возраст можно определить из выражения:

$$t_r = \frac{t_\lambda}{3} + (1 \div 3) \quad (7)$$

Вычисления по выражению (7) показывают, что для камбалы минимальный промысловый возраст t_r находится в диапазоне $7,5 \div 10$ лет; для трески – $7 \div 10$ лет. Сравнение результатов вычислений по выражениям (6) и (7) позволяет считать их достаточно близкими и в целом не противоречащими друг другу. Но в первом случае мы получаем единственное значение минимального промыслового возраста, а во втором – диапазон возрастов, в пределах которого необходимо выбрать конкретное значение минимального возраста.

Найти единственное решение в задаче по определению минимального промыслового возраста с учетом особенностей полового созревания рыб в стаде непросто. Известно, что половое созревание рыб растянуто во времени. Так, по наблюдениям Л.И. Денисова (Денисов Л.И. *Рыболовство на водохранилищах*. М.: Пищевая промышленность, 1978. 285 с.), лещ на Цимлянском водохранилище начинает участвовать в нересте с 4-летнего возраста. С четырех лет половозрелыми становятся 10%; с пяти – 35%; с шести – 60% рыб. С учетом этих данных минимальный промысловый возраст, рассчитанный по выражению (7), соответствует зрелости леща в пределах от 43 до 93%. Какую цифру в этом диапазоне следует выбрать для установления значения минимального промыслового возраста? С позиции поддержания воспроизводства стада, очевидно, предпочтение следует отдать большей цифре. Логично также разрешить лов с того момента, когда 100% рыб станут половозрелыми. Если при этом учесть различие в сроках созревания самцов и самок, влияние объема вылова по годам на сроки созревания рыб, то задача определения минимального промыслового возраста рыб по условию поддержания воспроизводительной способности популяции еще более усложнится.

Возможно, вопрос об установлении минимального промыслового возраста следует решать упрощенно: одни виды рыб вылавливать после того, как они один раз отнерестились, другие – после второго или третьего нереста. Но при этом встает задача о соответствующей стратификации самих видов. Кроме того, необходимо выяснить, какие годовые классы и в каком составе способны обеспечить достаточное воспроизводство конкретной популяции. Без этих исследований установление минимального промыслового возраста рыб с позиций воспроизводства стада является лишь некоей страховкой, позволяющей надеяться, что после завершения лова хоть какая-то часть (от одного до трех годовых классов) оставшегося в водоеме половозрелого стада способна к воспроизводству.