

УДК 626.88 : 597 - 152.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЫБОПРОПУСКНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ СТАДА РЫБ

В.А.Ревич

В фундаментальном труде Бивертон и Холта^{*)} исследуется динамика численности промысловой популяции рыб в зависимости от интенсивности лова. Однако резкие изменения ряда характеристик популяций возникают также после строительства гидроузлов из-за нарушения миграций рыб к местам нереста и уменьшения нерестовых площадей. Отклонения численности от прежнего стабильного состояния в случае, если при гидроузле имеется рыбопропускное сооружение, происходят в течение некоторого периода времени и могут быть легко исследованы при формализации динамики численности нерестового стада в этом переходном периоде. Формализация и исследование в переходном периоде динамики численности рыб как с простой, так и со сложной многовозрастной структурой нерестовой части популяции в условиях работы рыбопропускного сооружения имеют вполне определенный практический смысл, поскольку дают возможность рассчитать необходимую для каждого года переходного периода интенсивность вылова и более точно оценить экономическую эффективность капиталовложений в строительство рыбопропускных сооружений.

К рыбопропускному сооружению при гидроузле, построенном в ареале икрометания, в течение определенного ряда лет, начиная с первого года работы рыбопропускного сооружения, будет подходить гораздо больше производителей, чем необхо-

*) Бивертон Р., Холт С. Динамика численности промысловых рыб. М., "Пищевая промышленность", 1969, 533 с.

димо для пропуска в верхний бьеф на оставшиеся там нерестилища. Если в ненарушенных гидростроительством условиях речного стока на нерестища в среднем проходило N производителей, которые обеспечивали воспроизводство взрослых особей численностью $\bar{N} = N\bar{K}$ где \bar{K} — среднее число половозрелых особей (взрослых мигрантов), выживающих из икры, приходящейся на одну особь родительского стада, то в условиях работы рыбопропускного сооружения на оставшиеся в верхнем бьефе нерестилища необходимо пропускать в среднем N особей, которые дадут уже меньшую численность будущих производителей $\bar{N} = N\bar{K} < \bar{N}$. Новое стабильное состояние стада, соответствующее оптимальной численности пропускаемых в верхний бьеф производителей N , расчетной пропускной способности (вероятности пропуска) рыбопропускного сооружения P и прежней интенсивности вылова V_F , наступит не сразу, а через несколько лет, в течение которых в общую численность подходящих к гидроузлу производителей будут включаться особи, воспроизведенные до момента строительства гидроузла и рыбопропускного сооружения.

Поскольку в переходном периоде ежегодно на нерест будет идти больше производителей, чем нужно для пропуска на нерестилища, излишнее число особей необходимо изъять сразу же после пропуска N производителей. Иначе говоря, для каждого года переходного периода следует иметь свое значение интенсивности вылова ($V_{F,2}, V_{F,3}, V_{F,4}, \dots, V_{F,i-2}, V_{F,i-1}, V_{F,i}$), соответствующее численности нерестового стада в данном году и удовлетворяющее условию оптимума численности пропускаемых производителей. Естественно, что в данной ситуации само рыбопропускное сооружение следует рассматривать как единицу рыболовного усилия.

Характер изменения численности нерестового стада и соответственно интенсивности вылова в переходном периоде будет зависеть от возрастной структуры нерестового стада. В самом простейшем случае, когда нерестовая часть популяции состоит из рыб одного возраста и производители в последующие годы в воспроизводстве не участвуют, длительность переходного периода будет равна периоду созревания особей. Если, например, рыбы становятся половозрелыми на втором году жизни, переходный период будет длиться два года. В течение этих двух лет интенсивность промысла должна составлять

V_F , а с третьего года работы рыбопропускного сооружения промысел может быть возвращен к прежней интенсивности V_F . Естественно, что при этом, $V_F < V_F$.

Значение V_F рассчитывается следующим образом.

Для данного примера общая численность особей, идущих на нерест как в году T (первый год работы рыбопропускного сооружения), так и в году $T+1$ составит \bar{N} . При пропуске на нерестилища N производителей имеем $N(1-V_F)P = \bar{N}$, откуда $V_F = 1 - \frac{\bar{N}}{N}$.

Рассмотрим теперь случай, когда при простой структуре нерестового стада в нем имеется несколько возрастных групп, например три, особи в которых созревают на третьем, четвертом и пятом году жизни. Условимся при этом считать $\bar{N} = \bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c$, равно как и $\bar{N} = \bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c$, т.е. прием условие сохранения относительной величины каждой возрастной группы в нерестовом стаде как до зарегулирования речного стока, так и после строительства гидроузла и рыбопропускного сооружения. Коэффициенты a, b, c ($a+b+c=1$; $a \neq b \neq c$) определяют соответственно долю первой (самой младшей), второй и третьей (самой старшей) возрастных групп в общей численности нерестового стада.

В году T общая численность особей, идущих на нерест, составит \bar{N} . Среди этих особей, $\bar{N}a$ рыб были воспроизведены в году $T-3$, $\bar{N}b$ - в году $T-4$ и $\bar{N}c$ - в году $T-5$. В верхний бьеф гидроузла необходимо пропустить производителей, т.е. $\bar{N}(1-V_F)P = \bar{N}$.

В году $T+1$ общая численность особей, идущих на нерест, составит \bar{N} , так как $\bar{N}a$ воспроизведено в году $T-2$, $\bar{N}b$ - в году $T-3$ и $\bar{N}c$ - в году $T-4$, т.е. $\bar{N}(1-V_F)P = \bar{N}$.

В году $T+2$ общая численность особей, идущих на нерест, составит \bar{N} , так как $\bar{N}a$ воспроизведено в году $T-1$, $\bar{N}b$ - в году $T-2$ и $\bar{N}c$ - в году $T-3$, т.е. $\bar{N}(1-V_F)P = \bar{N}$.

В году $T+3$ общая численность особей, идущих на нерест, составит $\bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c$ (из особей, воспроизведенных соответственно в году T , $T-1$ и $T-2$), т.е. $(\bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c)(1-2V_F)P = \bar{N}$

В году $T+4$ общая численность особей, идущих на нерест, составит $\bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c$ (из особей, воспроизведенных соответственно в году $T+1$, T и $T-1$), т.е. $(\bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c)(1-3V_F)P = \bar{N}$

Как видим, происходит постепенное изменение численности нерестового стада в результате выбывания из него особей, воспроизведенных до строительства гидроузла и рыбопропускного сооружения. В году $T+4$ от таких рыб остается уже только, $\bar{N}c$ особей, воспроизведенных в году $T-1$.

В году $T+5$ общая численность нерестового стада достигнет \bar{N} , так как в состав его включатся $\bar{N}a, \bar{N}b, \bar{N}c$, воспроизведенные соответственно в году $T+2$; $T+1$ и T , т.е. уже в период работы рыбопропускного сооружения. Для этого года $\bar{N}(1 - V_F)P = \bar{N}$, так как создана новая стабильная популяция и промысел может быть возвращен к прежней, бывшей до строительства гидроузла, интенсивности V_F .

Если проследить изменение в переходном периоде численности стада с простой возрастной структурой при любом числе возрастных групп и любом возрасте самой младшей группы, окажется, что длительность переходного периода (число лет в переходном периоде) равна возрасту самой старшей возрастной группы и что интенсивность вылова, V_F должна поддерживаться постоянной в течение времени, равному возрасту самой младшей возрастной группы, а в остальные годы переходного периода интенсивность вылова должна ежегодно снижаться, последовательно приобретая значения ${}_2V_F, {}_3V_F, \dots, {}_{i-2}V_F, {}_{i-1}V_F, {}_iV_F$.

Для нашего примера значения интенсивности вылова будут следующими:

$${}_1V_F = 1 - \frac{N}{{}_1NP};$$

$${}_2V_F = 1 - \frac{N}{(\bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c)P};$$

$${}_3V_F = 1 - \frac{N}{(\bar{N}a + \bar{N}b + \bar{N}c)P};$$

При формализации для переходного периода динамики численности нерестового стада с простой возрастной структурой мы пренебрегали показателем естественной смертности (годовым темпом естественной смертности V_m), поскольку в практические расчеты, даже если в нересте участвует не одна возрастная группа, поправка на естественную смертность особей изменений не внесет. Однако для рыб со сложной многовозрастной структурой нерестовой части стада учет годового темпа естественной смертности необходим, так как в этом случае в стаде

присутствует несколько возрастных групп и периоды повторного созревания особей могут быть достаточно длительными (2-3 года, а иногда и более).

С учетом годового темпа естественной смертности и при ежегодном повторном созревании особей приведение численности популяции к новому стабильному состоянию в течение переходного периода можно формализовать следующим образом.

В году T к гидроузлу подойдут особи, воспроизведенные в условиях незарегулированного речного стока. Общая численность нерестового стада будет складываться из \bar{N} - впервые созревших особей; $\bar{N}(1-V_M)(1-V_F)$ - остатка производителей после однократного воздействия промысла с интенсивностью V_F ; $\bar{N}(1-V_M)^2(1-V_F)^2$ - остатка производителей после двукратного воздействия промысла с интенсивностью V_F и т.д. вплоть до остатка особей из самой старшей возрастной группы, подвергавшейся воздействию промысла с интенсивностью V_F уже $t-1$ раз, т.е. $\bar{N}(1-V_M)^{t-1}(1-V_F)^{t-1}$.

Общая численность подошедших к гидроузлу производителей, таким образом, в году T будет равна $\bar{N} \sum_{t=0}^{\infty} (1-V_M)^t (1-V_F)^t$, или $\bar{N} \left(\frac{1-a^t}{1-a} \right)$ при $a = (1-V_M)(1-V_F)$.

Из этого количества рыб в верхний бьеф надо пропустить N производителей, т.е. $\bar{N} \left(\frac{1-a^t}{1-a} \right) (1-V_F) P = N$.

Отсюда находится необходимая для первого года работы рыбопропускного сооружения интенсивность вылова, V_F :

$$V_F = 1 - \frac{N(1-a)}{\bar{N}(1-a^t)P}$$

В году $T+1$ к гидроузлу подойдут особи, общая численность которых будет складываться из \bar{N} - впервые созревших рыб; $\bar{N}(1-V_M)(1-V_F)$ - остатка производителей, созревших второй раз и подвергавшихся в предыдущем году (в году T) воздействию промысла с интенсивностью V_F ; $\bar{N}(1-V_M)^2(1-V_F)(1-V_F)$ - остатка производителей, созревших третий раз и подвергавшихся воздействию промысла с интенсивностью V_F (в году $T-1$) и V_F (в году T); $\bar{N}(1-V_M)^3(1-V_F)^2(1-V_F)$ - остатка производителей, созревших четвертый раз и подвергавшихся дважды воздействию промысла с интенсивностью V_F (в годы $T-2$ и $T-1$) и интенсивностью V_F (в году T), и т.д. вплоть до остатка особей из группы, подвергавшейся воздействию промысла с интенсивностью V_F ($t-2$ раз) - V_F (один раз), т.е.

$$\bar{N}(1-V_M)^{t-1}(1-V_F)^{t-2}(1-V_F)$$

При $q = (1 - V_M)(1 - V_F)$ общая численность производителей будет равна $\bar{N} \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\}$. При пропуске в верхний бьеф гидроузла производителей необходимая для года $T+1$ интенсивность вылова окажется равной

$${}_2V_F = 1 - \frac{N}{\bar{N} \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} P}$$

Аналогичным образом интенсивность вылова находится для года $T+2$ (третий год работы рыбопропускного сооружения):

$${}_3V_F = 1 - \frac{N}{\bar{N} \left\{ \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} \right\} P}$$

Как видим, в нерестовом стаде численность особей, воспроизведенных в условиях незарегулированного речного стока, постепенно убывает, в то же время с какого-то момента в нерестовое стадо начнут включаться особи, воспроизведенные уже после начала работы рыбопропускного сооружения, т.е. особи, воспроизведенные в году $T, T+1, T+2$ и т.д. Год вступления особей в нерестовое стадо и в промысел будет определяться временем, прошедшим с момента рождения до первого созревания. Если обозначить число лет в этом периоде через λ , первые особи, воспроизведенные в условиях зарегулированного речного стока, вступят в нерестовое стадо и в промысел в году $T + \lambda$. Численность родителей этих рыб определится условием пропуска в верхний бьеф гидроузла оптимального количества производителей, т.е. N . Следовательно, вместе с рыбами, воспроизведенными в условиях незарегулированного речного стока, в году $T + \lambda$ к гидроузлу подойдут и впервые созревшие особи численностью \bar{N} .

Если принять $\lambda = 3$, а $t = 5$, общая численность производителей, подошедших в году $T+3$ к гидроузлу, будет равна

$$\bar{N} + \bar{N}(1 - V_M)(1 - V_F) \left\{ \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} \right\},$$

а необходимая для четвертого года работы рыбопропускного сооружения интенсивность вылова ${}_4V_F =$

$$= 1 - \frac{N}{\bar{N} + \bar{N}(1 - V_M)(1 - V_F) \left\{ \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} \left\{ 1 + (1 - V_M)(1 - V_F) \left[\frac{1 - q^{t-1}}{1 - q} \right] \right\} \right\} P}$$

Не приводя соответствующих выкладок для пятого, шестого и седьмого года работы рыбопропускного сооружения, отме-

тим, что год $T+6$ является для рассматриваемого случая последним годом переходного периода: в этом году к гидроузлу подходят последние особи из генерации, появившейся в условиях незарегулированного речного стока. После воздействия на них промысла интенсивностью V_F в водоеме не останется ни одной особи, воспроизведенной до строительства гидроузла и рыбопропускного сооружения (в данном примере эти особи были воспроизведены в году $T-1$ и впервые созрели в году $T+2$). В году $T+7$ к гидроузлу подойдут особи, воспроизведенные только в условиях работы рыбопропускного сооружения, и промысел может вестись с прежней интенсивностью V_F . Вообще при любых значениях λ и t для нерестового стада со сложной многовозрастной структурой новая стабильная популяция возникает в году $T + \lambda + t - 1$. В течение всего переходного периода (с года T по год $T + \lambda + t - 2$) интенсивность вылова должна ежегодно снижаться и принимать последовательно значения $V_F, {}_2V_F, {}_3V_F, \dots, {}_{t-2}V_F, {}_{t-1}V_F, {}_tV_F$.

Процесс перехода численности нерестового стада к новому стабильному состоянию рассматривается нами в чистом виде, без учета ежегодных колебаний численности пополнения, вызываемых различными природными факторами. Однако существенного отклонения модели от описываемой ею реальной ситуации ожидать не следует, поскольку модель включает средние значения интересующих нас основных характеристик стада.

Investigation of influence of the raceway
on the dynamics of fish populations

V.A.Revich

S u m m a r y

Sharp changes occur in many characteristics of fish populations due to construction of hydropower schemes which affect migration routes of fish and cause reduction in spawning grounds. As compared to the former stable state fluctuations in the abundance when the raceway is put under operation occur within some transitional period of time. Formalization and investigation of the dynamics of fish populations of simple and complex multi-age structures of the spawning stock in the transitional period make it possible to compute the fishing intensity in the transitional one-year period and provide a more precise estimate of general efficiency of raceways.