

С.А. Кукушкин, Д.В. Радкевич

Расчет среднего ежегодного прироста ихтиомассы рыб озера Тиосто на основе данных промысловой статистики

Существующие в настоящее время методы подсчета величин, характеризующих состояние промыслового стада рыб, подразделяются на две группы:

- прямого количественного подсчета величины стада;
- подсчета относительных показателей величины запаса, косвенно характеризующие состояние его численности [1].

Разработка математических методов оценки численности рыбной популяции и изучение динамики популяций производились достаточно долго. Необходимо отметить, что во всех работах, основанных на классических уравнениях, исследователи сталкивались с рядом трудностей, которых не избежали и мы в настоящей работе. Эти трудности заключались в невозможности учета целого ряда взаимосвязей в популяциях, а также влияния внешних факторов. Поэтому необходимо было найти такие математические соотношения, которые не требовали бы в явной форме учета всех этих взаимосвязей. В то же время, на основании известных экспериментальных данных позволили бы получить интересующие научные данные, например, общую биомассу той или иной популяции рыб в определенном месте обитания, запас промысловой ихтиомассы и т.д.

В данной работе мы опирались на уже разработанные методики [2, 3] и более ограниченную информацию, основанную на данных архивов промысловой статистики. Если предположить, что в условиях вылова средней интенсивности, ежегодный прирост биомассы популяции ΔM совпадает с массой вылова, то это предположение позволит определить численность популяции всех возрастных групп и другие характеристики.

В начале расчетов имели следующий экспериментальный материал по щуке *Esox lucius* (L.) за 1970–1989 годы:

- количество выловленной рыбы (в центнерах) за год (табл. 1);
- средняя масса одного экземпляра в общей выборке по возрастным группам, полученная в результате сбора фактического материала на данном водоеме за ряд лет (табл. 2).

Хотя данные промысловой статистики можно считать приближенными. Действительное же значение леща, судака, щуки, синца в уловах оказывается немного больше, так как в водоеме с высокой численностью этих видов, большая часть молоди скрывается в «сборных» товарных сортах: «плотва», «окунь» и «мелочь III группы». В некоторых озерах они составляют 30, 40 и даже 80 % всего улова [4-6].

Воспользуемся формулой монографии [2], связывающей прирост биомассы ΔM с численностью N всей популяции и средними массами особей m_i ($4 < i < 7$). Если в начале k -го года известны массы особей соответствующих возрастных групп m_i , то к концу года i -я возрастная группа переходит в $(i+1)$ -ю возрастную группу, масса которой характеризуется значением m_{i+1} . Ежегодный прирост биомассы, даваемый i -ой возрастной группой будет равен

$(\Delta m_i) N_i = (m_{i+1} - m_i) N_i$, где N_i – численность i -ой возрастной группы.

Суммируя по всем возрастным группам, найдем ежегодный прирост биомассы для всей популяции

$$\Delta M = \sum_{i=1}^n \Delta m_i N_i \text{ или}$$

$$\Delta M = N \sum_{i=1}^n (m_{i+1} - m_i) p_i = N \sum_{i=1}^n (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_1} \left(\sum_{i=1}^n e^{-m_i/m_1} \right)^{-1} = N \langle \Delta m \rangle,$$

где $\langle \Delta m \rangle$ – средний ежегодный прирост, приходящийся на среднюю массу одной особи популяции; N – численность всей популяции

Таблица 1

**Динамика вылова основных промысловых видов рыб
в озере Тиосто в 1970–1989 гг., в ц**

Год	Вид						
	лещ	судак	щука	окунь	плотва	синец	всево
1970	5.81	2.60	5.79	1.56	7.68	7.14	44.88
1971	4.97	2.34	1.13	1.10	2.63	22.71	53.73
1972	2.65	1.65	0.90	2.67	2.25	4.68	17.51
1973	11.70	4.60	2.20	3.13	11.50	8.50	54.23
1974	6.40	3.60	1.00	1.00	8.60	4.35	71.64
1975	15.08	2.38	1.90	0.92	9.74	6.12	57.54
1976	10.65	3.00	1.80	1.70	13.80	19.5	76.45
1977	6.70	1.00	2.10	2.80	20.50	5.74	51.51
1978	5.20	0.90	1.30	1.20	13.10	6.54	55.04
1979	2.47	0.80	0.70	1.70	9.10	0.40	30.57
1980	1.56	0.60	0.30	0.15	0.49	–	4.52
1981	5.92	0.56	0.66	0.73	11.02	0.80	31.07
1982	3.06	0.68	0.31	0.44	3.69	–	18.37
1983	3.56	0.60	0.33	0.58	9.72	0.21	22.54
1984	1.83	0.57	0.95	0.80	10.57	–	28.57
1985	4.56	1.70	1.66	0.89	1.65	–	30.58
1986	6.83	0.90	0.37	0.10	7.80	–	20.42
1987	4.30	2.67	2.05	0.97	4.45	1.40	24.67
1988	3.84	7.13	1.56	1.42	2.79	2.58	26.98
1989	7.34	0.29	0.83	0.22	25.92	25.06	61.17

Примечание: в столбце «ВСЕГО» включен вылов всех видов рыб.

Этот прирост биомассы всей популяции определяет максимально возможный вылов в соответствии со стратегией оптимального вылова. Если же ежегодный вылов будет превышать ежегодный прирост биомассы популяции ΔM , что может быть достигнуто интенсификацией промысла, то биомасса популяции будет уменьшаться. Поэтому для поддержания стабильного значения биомассы необходимо регулировать промысел, что может быть достигнуто оптимальным использованием рыболовных средств. Подобного рода рассуждения лежат в основе рекомендаций по промысловому вылову для практически любого водоема.

Таблица 2

**Средняя масса (в кг) одного экземпляра различных возрастных групп
(по видам), полученная из эксперимента**

Возраст τ	Вид					
	лещ	окунь	плотва	судак	синец	щука
m_1			0.00360			
m_2	0.02932	0.01811	0.01160			
m_3	0.07272	0.05110	0.01987	0.61250		
m_4	0.15056	0.09454	0.03333	0.87227	0.06630	0.66200
m_5	0.29157	0.18347		1.05100	0.14100	1.02614
m_6	0.52033	0.33352		1.36900	0.21570	1.50000
m_7	0.76666	0.40580			0.25463	3.10000
m_8	0.93625	0.57633			0.33040	
m_9	1.05750				0.38025	
m_{10}	1.21000				0.53000	
m_{11}	1.37033					
m_{12}	1.55000					
m_{13}	1.90250					
m_{14}	2.06000					

Таблица 3

**Расчет ежегодного прироста ихтиомассы (ΔM) основных
промысловых видов рыб озера Тиосто за ряд лет**

Год	Вид					
	лещ	окунь	плотва	судак	синец	щука
1970	8452.23	4439.93	95082.45	1189.18	9869.13	1002.08
1971	7230.22	3130.72	32560.79	1070.27	31390.47	195.57
1972	3855.15	7599.11	27856.19	754.68	6468.84	155.76
1973	17020.83	8908.32	14237.61	2103.94	11748.96	380.76
1974	9310.54	2846.11	106472.50	1664.56	59850.61	173.07
1975	21937.96	2618.42	120586.30	1088.56	8459.26	328.84
1976	15275.11	4838.38	170852.30	1372.14	26953.51	311.53
1977	9746.97	7969.10	253800.80	457.38	9334.01	363.45
1978	7564.81	3445.33	162184.90	411.64	9039.79	224.99
1979	3393.29	4838.38	112662.80	365.90	829.34	121.15
1980	2269.44	426.92	6066.46	274.43	-	51.92
1981	8612.25	2077.66	136433.40	256.13	1105.79	114.23
1982	4451.60	1252.29	45684.15	311.02	-	53.65
1983	5178.99	1650.74	120338.70	274.43	290.27	57.12
1984	2662.23	2276.89	130863.20	260.71	-	164.42
1985	6633.76	2533.04	20427.87	777.54	-	287.29
1986	9936.09	284.61	96568.12	411.64	-	64.04
1987	6255.52	2760.73	55093.35	1221.20	1935.12	354.79
1988	5586.32	4041.47	34541.67	3261.11	3566.16	64.04
1989	10678.03	626.14	320903.30	132.64	34638.71	143.65

Следуем далее:

$$\Delta M = N \sum_{i=1}^7 (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_4} \left(\sum_{i=1}^7 e^{-m_i/m_4} \right)^{-1};$$

Вычисляем: $\sum_{i=1}^7 e^{-m_i/m_4} = 0,6931213$, и далее

$$\sum_{i=1}^7 e^{-m_i/m_4} (m_{i+1} - m_i) \left(\sum_{i=1}^7 e^{-m_i/m_4} \right)^{-1}.$$

Получается величина 0,5777964 кг, которая является средним ежегодным приростом $\langle \Delta m \rangle$, приходящимся на среднюю массу одной особи популяции. Таким образом в наших условиях

$$\Delta M = 0,5777964 \text{ N} \quad (1)$$

Рассчитаем по формуле (1) численности N^k , где k – соответствующий год.

$$0,5777964 \text{ N}^{1970} = 579 \rightarrow N^{1970} = 579 / 0,5777964 = 1002,08,$$

откуда получаем сводную таблицу 3.

Проведем аналогичные расчеты по судаку *Stizostedion lucioperca* (L.), основанные на аналогичных данных. Обратимся к таблицам 1 и 2, откуда согласно вычислений ($3 \leq i \leq 6$)

$$\sum_{i=1}^6 e^{-m_i/m_3} = 0,895381;$$

$$\sum_{i=1}^6 (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_3} \left(\sum_{i=1}^6 e^{-m_i/m_3} \right)^{-1} = 0,2186373.$$

Таким образом,

$$\Delta M = 0,2186373 \text{ N} \quad (2).$$

Рассчитаем по формуле (2) численности N^k , где k – соответствующий год.

Результаты расчетов представлены в сводной таблице 3.

Проводим аналогичные расчеты по окуню *Perca fluviatilis* (L.).

Проведем вычисления: ($2 \leq i \leq 8$).

$$\sum_{i=1}^8 e^{-m_i/m_2} = 0,4328334;$$

$$\sum_{i=1}^8 (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_2} \left(\sum_{i=1}^8 e^{-m_i/m_2} \right)^{-1} = 0,0351357.$$

Таким образом,

$$\Delta M = 0,0351357 \text{ N} \quad (3).$$

Далее рассчитываем по формуле (3) численности N^k , где k – соответствующий год. Более подробные данные представлены в сводной таблице 3.

Проводим аналогичные расчеты по лещу *Abramis brama* (L.). Имеем для расчетов сводные таблицы 1 и 2. Проводим вычисления: ($2 \leq i \leq 14$).

$$\sum_{i=1}^{14} e^{-m_i/m_2} = 1,3493166;$$

$$\sum_{i=1}^{14} (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_2} \left(\sum_{i=1}^{14} e^{-m_i/m_2} \right)^{-1} = 0,0687393.$$

Таким образом,

$$\Delta M = 0,0687393 N \quad (4)$$

Далее, таким же образом рассчитываем по формуле (4) численности N^k , где k – соответствующий год (сводная таблица 3).

Аналогичные расчеты по синцу *Abramis ballerus* (L.). Имеем таблицы 1 и 2. Проводим расчеты: ($4 \leq i \leq 10$).

$$\sum_{i=1}^{10} e^{-m_i/m_4} = 0,55765219;$$

$$\sum_{i=1}^{10} (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_4} \left(\sum_{i=1}^{10} e^{-m_i/m_4} \right)^{-1} = 0,072347.$$

Таким образом,

$$\Delta M = 0,072347 N \quad (5).$$

Аналогично рассчитываем по формуле (5) численности N^k , где k – соответствующий год (сводная таблица 3).

И окончательный расчет проводим по плотве *Rutilus rutilus* (L.). Имеем данные, полученные из эксперимента сводные таблицы 1 и 2. Производим расчеты согласно: ($1 \leq i \leq 4$).

$$\sum_{i=1}^4 e^{-m_i/m_4} = 0,41184881;$$

$$\sum_{i=1}^4 (m_{i+1} - m_i) e^{-m_i/m_4} \left(\sum_{i=1}^4 e^{-m_i/m_4} \right)^{-1} = 0,0080772.$$

Таким образом,

$$\Delta M = 0,0080772 N \quad (6).$$

Откуда рассчитываем N^k - е (сводная таблица 3)

Понятно, что приведенные выше вычисления являются относительными и судить о точности их можно с приближением. Тем не менее, промысловые прогнозы представляют собой конечное звено в сложной и многогранной проблеме динамики стад популяций рыб. Степень изученности указанных связей в популяции зависит от количества информации об объекте и среде его обитания. Эта информация должна отражать многолетние наблюдения, так как только в этих случаях можно отражать определенные гипотезы о наблюдаемых закономерностях и природных явлениях, а на их основании предсказывать и ожидаемые изменения в состоянии запасов промысловых рыб.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. Икhtiомассы основных промысловых видов рыб взаимосвязаны, поэтому ведение промысла без учета этой взаимосвязи может привести к изменению существующего состояния икhtiоценоза.

2. Определение запасов рыб позволяет вплотную подойти к вопросу управления рыбопродукционным процессом, что весьма актуально на современном этапе.

3. Расчеты, разработанные на основе предлагаемой методики, нуждаются в уточнении, поскольку влияние ряда абиотических факторов труднопредсказуемо и их необходимо учитывать при анализе причин ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко Г.П. Методы определения икhtiомассы, прироста рыб и рыбопродукции // В сб. Продукция популяций и сообществ водных организмов и методы ее изучения. Изд. АН СССР, 1985. С. 111-137.

2. **Приц А.К.** Принцип стационарных состояний открытых систем и динамика популяций. Калининград, 1974. –128 с
3. **Рокицкий П.Ф.** Биологическая статистика. Мн., 1967. –328 с.
4. **Савина Н.О., Невядомская П.С., Пяткова З.А.** Основные промысловые рыбы водоемов Витебского рыбзавода // Биологические основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики. Труды X научной конференции по внутренним водоемам Прибалтики. Мн., 1964. С. 45-49.
5. **Штейнфельд А.Л.** Промыслово-биологическая характеристика уловов рыб в озере Богино // Вопросы рыбного хозяйства Белоруссии. Труды БелНИИРХ, т.VII 1970. С. 243-256.
6. **Штейнфельд А.Л., Соболев Т.Т.** Состояние запасов и уловов рыб в озере Дривяты // В сб. Продуктивность эвтрофного озера. М., 1970. С. 166-178.

S U M M A R Y

The ichtioweight of the principal (trade) sorts of fish are closely interconnected calculations on the base of this method require additional information. The influence of abiotik faktors are difficult to foresay. The definition of fish supply permits to consider the question of fish producing process.