

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОПУСТИМОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ РЫБ

С.С. Мосияш, В.А. Шашуловский

*Саратовское отделение Государственного научно-исследовательского
института озерного и речного рыбного хозяйства
Россия, 410002, Саратов, Чернышевского, 152*

Поступила в редакцию 16.01.03 г.

Использование итерационного моделирования для прогнозирования допустимой промысловой эксплуатации популяций рыб. – Мосияш С.С., Шашуловский В.А. – Показана возможность использования процедуры «Поиск решения» в программной среде Microsoft Excel для прогнозирования максимально допустимого промыслового вылова рыб.

Ключевые слова: популяции рыб, общие допустимые уловы, моделирование, итерационная процедура, Microsoft Excel.

Use of iterative modeling to predict the allowable industrial exploitation of fish populations. – Mosiyash S.S., Shashulovsky V.A. – The possibility of using the Solution Search procedure in the Microsoft Excel software environment to predict the maximum allowable quantity of fish that can be caught for industrial purposes is shown.

Key words: fish populations, general allowable catches, modeling, iterative procedure, Microsoft Excel.

Прогнозирование общих допустимых уловов (ОДУ) рыб является в настоящее время обязательной научно-нормативной основой для управления водными биологическими ресурсами путем лимитирования и квотирования их хозяйственного использования. Уже около века прогнозирование допустимых уловов базируется на разработке и реализации математических моделей различной сложности (Баранов, 1918; Тюрин, 1962; Бивертон, Холт, 1969; Рикер, 1979; Гасюков и др., 1980; Бандура, Шibaев, 1986 и др.). Вместе с тем появление в последнее десятилетие высокоэффективной компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения существенно упростило решение целого ряда прикладных задач моделирования промысловой эксплуатации рыбных популяций.

В частности, расчет ОДУ может быть реализован в форме имитационного табличного моделирования в программной среде Microsoft Excel с использованием процедуры «Поиск решения». Основанием для применения такого подхода служит алгоритм расчета ОДУ (Методические рекомендации ..., 1990). При обсуждении алгоритма указано, что методом итерационного перебора величины годового коэффициента вылова рыб можно скорректировать его значение так, чтобы получить максимальный суммарный улов за годы эксплуатации (обычно упреждение прогноза составляет два года). Именно такого рода итерационная процедура в настоящее время хорошо реализована в среде Microsoft Excel.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данной статье показана возможность применения процедуры «Поиск решения» на примере расчетов ОДУ для леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) как основного промыслового вида рыб Волгоградского водохранилища. Структура модели приведена в таблице, которая строится на рабочем листе Microsoft Excel.

Для удобства дальнейшего рассмотрения введем следующие условные обозначения:

- N – численность рыб в промысловой части популяции, тыс. шт.;
- W – средняя индивидуальная масса особи каждой возрастной группы, г;
- B – биомасса рыб в промысловой части популяции, т;
- φ_Z – расчетный годовой коэффициент общей смертности;
- φ_M – прогнозируемое значение годового коэффициента естественной смертности;
- φ_F – прогнозируемое значение годового коэффициента вылова (промысловой смертности);
- $\varphi_M + \varphi_F$ – прогнозируемое суммарное значение естественной и промысловой смертности, т. е. прогнозируемый годовой коэффициент общей смертности;
- F – допустимый улов в численном выражении, тыс. шт.;
- G – допустимый улов в единицах массы, т.

Имитационная модель расчета ОДУ леща Волгоградского водохранилища
на 2003 – 2004 гг. эксплуатации

Возрастная группа	2002 год (базовый год)			Годовые коэффициенты смертности				2003 год				2004 год			
	N , тыс. шт.	W , г	B , т	φ_M прог.	φ_F прог.	$\varphi_M + \varphi_F$ прог.	φ_Z	N , тыс. шт.	B , т	ОДУ		N , тыс. шт.	B , т	ОДУ	
										F , тыс. шт.	G , т			F , тыс. шт.	G , т
6+	1697	487	827	0.15	0.15	0.30	0.30	1697	827			1697	827		
7+	960	708	679	0.22	0.22	0.44	0.51	1188	841	191	114	1188	841	191	114
8+	606	960	582	0.15	0.15	0.30	0.45	540	519	210	175	669	642	260	216
9+	384	1141	438	0.19	0.19	0.37	0.38	424	484	91	96	378	432	81	85
10+	303	1365	414	0.20	0.20	0.41	0.42	241	329	71	89	267	364	79	99
11+	202	1617	327	0.15	0.15	0.30	0.44	180	290	61	92	143	231	49	73
12+	111	1849	205	0.31	0.31	0.61	0.62	141	262	30	53	126	232	27	47
13+	101	2017	204	0.29	0.28	0.57	0.58	43	87	34	66	55	110	43	84
14+ и более	20	2131	43	0.80	0.17	0.97	1.00	43	92	29	59	18	39	12	25
Всего	4383	-	3718	0.27	0.20	0.47	0.52	4497	3730	717	743	4540	3718	742	743

Информация по промысловой части популяции леща (параметры N , W , B) в базовом 2002 году получена в ходе оценки запасов рыб на водохранилище методом площадей (Сечин, 1990). Величина годового коэффициента общей смертности φ_Z для i -той возрастной группы рассчитывается на основании многолетних данных убыли поколений рыб по формуле

$$(\varphi_Z)_i = 1 - (N_i - N_{i+1}) / N_i.$$

Первоначальные значения годовых коэффициентов естественной смертности φ_M и вылова φ_F задаются в модельной таблице достаточно произвольно, поскольку именно эти параметры в дальнейшем изменяются, подвергаясь оптимизации в ходе процедуры поиска решения. В нашем случае начальными значениями φ_M явля-

лись величины годовых коэффициентов естественной смертности, полученные по методу П.В. Тюрина (1962). Значения φ_F в исходной позиции принимались равными 0.2 для всех возрастных групп леща. Попытки изменять исходное значение φ_F в пределах 0.1 – 0.5 приводили в результате процедуры поиска решения лишь к незначительному колебанию (менее 5%) целевой величины максимального ОДУ, о которой подробнее будет сказано ниже.

Суммирование значений годовых коэффициентов естественной и промысловой смертности ($\varphi_M + \varphi_F$) предусмотрено в отдельной колонке таблицы. Естественно, что значения этих сумм также изменяются в процессе поиска решения. Эта колонка необходима для сравнения суммы $\varphi_M + \varphi_F$ с «эталонными» средними многолетними значениями годового коэффициента общей смертности φ_Z в ходе выполнения процедуры поиска решения.

Все остальные параметры модели вычисляются программно с применением соответствующих формул. Исключение составляет лишь численность пополнения промысловой части популяции (численность N в возрастной группе 6+), которая в каждом расчетном году принимается равной учтенной величине базового года (1697 тыс. шт.).

Далее остановимся на вычислении параметров для одного расчетного года эксплуатации (т.е. для 2003 или 2004 г.).

Расчет численности N для i -той возрастной группы производится по формуле

$$N_i = N_{i-1} (1 - (\varphi_M + \varphi_F)_{i-1}).$$

Биомасса B для i -той возрастной группы вычисляется по формуле

$$B_i = N_i \cdot W_i / 1000.$$

Возможный вылов F в численном выражении для i -той возрастной группы в j -том году рассчитывается по формуле

$$F_{i,j} = N_{i-1,j-1} \cdot (\varphi_F)_{i-1}.$$

Для поколения рыб, впервые вступающего в промысел (возрастная группа 6+), к вылову принималась лишь часть (75%) общей численности поколения.

Величина возможного вылова в весовом выражении для i -той возрастной группы в j -том году вычисляется по формуле

$$G_{i,j} = F_{i,j} \cdot (W_i + W_{i-1}) / 2 / 1000.$$

Необходимо отметить, что для вычислений здесь взята средняя индивидуальная масса особей двух смежных возрастных групп, поскольку в течение промыслового сезона происходит рост особей.

В нижней строке модельной таблицы задействованы либо формулы суммирования (для численности, биомассы и вылова), либо расчет среднего по колонке значения (для годовых коэффициентов смертности).

Работа с процедурой поиска решения достаточно подробно изложена в справочной литературе, посвященной программной среде Microsoft Excel (Штайнер, 2000). В связи с этим мы не касаемся общих вопросов использования процедуры. Рассмотрим лишь назначение целевой переменной (ячейки) и устанавливаемые ограничения, выполнение которых требуется в ходе ее максимизации.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В качестве максимизируемой целевой переменной назначается суммарная величина ОДУ для второго расчетного года (2004). Итерационно изменяемыми переменными (ячейками) назначены диапазоны колонок таблицы, содержащие годовые коэффициенты вылова ϕ_F и естественной смертности ϕ_M .

В качестве ограничений заданы следующие условия (далее знак суммирования указывает на сумму показателя по всем возрастным группам).

1. Основные критерии расчета ОДУ (Методические рекомендации ..., 1990):

– ихтиомасса рыб в промысловой части популяции в конце эксплуатации не должна быть ниже, чем в начале эксплуатации; в нашем случае: $\Sigma B_{2003} \geq \Sigma B_{2002}$ и $\Sigma B_{2004} \geq \Sigma B_{2002}$.

– численность родительской популяции в начале и конце эксплуатации должна сохраняться постоянной: $\Sigma N_{2003} \geq \Sigma N_{2002}$ и $\Sigma N_{2004} \geq \Sigma N_{2002}$.

2. Величина ОДУ за расчетные годы эксплуатации не должна снижаться: $\Sigma \text{ОДУ}_{2004} \geq \Sigma \text{ОДУ}_{2003}$.

3. Прогнозируемые годовые коэффициенты общей смертности ограничиваются рамками средних многолетних для всего диапазона возрастных групп: $(\phi_M + \phi_F) \leq \phi_Z$.

4. Предполагается, что годовые коэффициенты вылова не должны быть выше годовых коэффициентов естественной смертности для всего диапазона возрастных групп: $\phi_F \leq \phi_M$.

5. Работа с процедурой показывает, что необходимы ограничения для нижних пределов годовых коэффициентов вылова и естественной смертности. Если не вводить подобного рода ограничений, процедура максимизации ОДУ может прогнозировать пресс смертности лишь на отдельных возрастных группах рыб, в то время как в других возрастах коэффициенты смертности могут снижаться вплоть до обнуления. Критерием для установки нижних границ естественной и промысловой смертности может служить минимальная величина «эталонного» годового коэффициента общей смертности ϕ_Z . В частности, в рассматриваемом примере наименьшее значение ϕ_Z характерно для рыб возрастной группы 6+ и составляет 0.3. Таким образом, в общем случае прогнозируемая сумма $\phi_M + \phi_F$ не должна быть ниже 0.3. Руководствуясь этим, устанавливаются ограничения для всего диапазона возрастных групп: $\phi_F \geq 0.15$ и $\phi_M \geq 0.15$.

6. Наконец, вводятся ограничения, запрещающие получение отрицательных значений численности для всего диапазона возрастных групп: $N_{2003} > 0$ и $N_{2004} > 0$.

Параметры процедуры поиска решения принимаются в основном «по умолчанию». Предусматривается лишь получение в модели неотрицательных значений. Кроме того, параметр «допустимые отклонения» может быть увеличен до 10 – 15%, что вполне приемлемо для такого рода прогнозов и вместе с тем практически всегда позволяет получить желаемое оптимизационное решение.

В результате выполнения процедуры «Поиск решения» (см. таблицу) удалось спрогнозировать максимально возможный вылов леща на первом и втором году эксплуатации в размерах 740 т. При этом численность и биомасса промысловой части популяции за период эксплуатации остаются практически на одном уровне. Этих результатов можно достичь, если средняя по промысловой части популяции

годовая убыль рыб от промысла (ϕ_F) составит 0.20 (т.е. 20%). Дифференцированные по возрастным группам прогнозные значения ϕ_F позволяют объективно подойти к разработке практических рекомендаций по оптимальному комплексу промысловых орудий лова леща (количество, размер ячеи, сроки лова и т.п.) на ближайшие годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бандура В.И., Шибяев С.В. Использование методов математического моделирования в целях определения параметров оптимального рыболовства на внутренних водоемах // Тр. ГосНИОРХ. 1986. Вып. 244. С. 4 – 37.

Баранов Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Избр. тр.: В 3 т. Т. 3: Теория рыболовства. М.: Пищевая промышленность, 1971. С. 12 – 56.

Бивертон Р., Холт С. Динамика численности промысловых рыб. М.: Пищевая промышленность, 1969. 248 с.

Гасюков П.С., Доровских Р.С., Приц С.Э. Методические рекомендации по применению математических методов для оценки запасов и возможного вылова промысловых объектов. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1980. 104 с.

Методические рекомендации по использованию кадастровой информации для разработки прогноза уловов рыбы во внутренних водоемах. Ч. 1: Основные алгоритмы и примеры расчетов. М.: Изд-во ВНИРО, 1990. 56 с.

Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищевая промышленность, 1979. 408 с.

Сечин Ю.Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах. М.: Изд-во ВНИИПРХ, 1990. 52 с.

Тюрин П.В. Фактор естественной смертности рыб и его значение при регулировании рыболовства // Вопр. ихтиологии. 1962. Т. 2, №3(24). С. 403 – 427.

Штайнер Г. Excel 2000: Справочник. М.: Лаборатория базовых знаний, 2000. 512 с.