

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 597.553.2:574.34.00.57

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ НЕЛЕГАЛЬНОГО  
ВЫЛОВА СЕМГИ (*SALMO SALAR*) В РЕКЕ УМБА**

© 2006 г. М.Ю. Алексеев<sup>1</sup>, А.В. Зубченко<sup>1</sup>, Е.А. Криксунов<sup>2</sup>

*1 – Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного  
хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, Мурманск 183763*

*2 – МГУ, биологический факультет, Москва 117485*

Поступила в редакцию 30.11.2006 г.

Окончательный вариант получен 06.06.2006 г.

Определялась величина нелегального промысла семги в реке Умба (Мурманская область, бассейн Белого моря). В качестве метода оценки предложено имитационное математическое моделирование. Показано, что браконьерский промысел является селективным, поскольку базируется на лососях осенней расы, состоящей в основном из самок. По результатам модельных экспериментов, доля нелегально вылавливаемой семги в реке Умба определена величиной 70% нерестового стада. Полученный результат объясняет наблюдаемое в последнее десятилетие уменьшение численности молоди в реке и согласуется с данными, приводимыми рядом авторов. Предложенный метод оценки может быть применен для аналогичных расчетов в других реках.

**ВВЕДЕНИЕ**

Река Умба (длина – 124,8 км, площадь водосбора – 6 249 км<sup>2</sup>) – одна из наиболее крупных лососевых рек Кольского полуострова. Относится к бассейну Белого моря. Длительное время на реке и в прибрежных районах вблизи устья велся промышленный лов семги ставными орудиями лова (сети, невода). Начиная с 1978 г., промысел семги в р. Умба сосредоточен на рыбоучетном заграждении (РУЗ). Режим лова первоначально предусматривал изъятие 50% нерестового стада, а впоследствии, из-за наметившихся негативных тенденций в воспроизводстве, был снижен до 25% (Алексеев, Криксунов, 1999). Начиная с 1990 г., на р. Умба ведется рекреационный лов семги по принципу «поймал-отпустил» и «поймал-изъял», а с 1997 г., в связи со снижением численности семги, прекращен промышленный лов лосося, и РУЗ переведен в режим учета. Для рыболовных целей ежегодно отлавливаются около 200 производителей, и эта схема эксплуатации запаса существует в последние несколько лет.

По данным учета, полученным на РУЗ в 1997-2005 гг., современная ежегодная численность нерестовых мигрантов в р. Умба равна, в среднем, 2 560 экз. Такое положение вызывает тревогу, поскольку расчетная потенциальная численность производителей семги в этой реке составляет 34 600 особей, а еще недавно, в период с 1979 по 1989 гг., среднегодовая численность лосося р. Умба была около 8 400 особей (Зубченко, Кузьмин, 1994).

Есть все основания утверждать, что резкое снижение численности семги в р. Умба связано с усилением незаконного лова, который по объемам стал сопоставим с официальным выловом, поэтому его нельзя игнорировать и необходимо учитывать при определении величины общего допустимого улова (ОДУ).

Характерной особенностью семги, населяющей реки Терского берега, в том числе Умбы, является наличие в популяции двух рас – яровой (летней) и озимой (осенней). Лососи яровой расы нерестятся в год захода в реку, тогда как озимые рыбы нерестятся осенью следующего после захода в реку года. Среди летней семги почти не встречаются самки. Первые осенние нерестовые мигранты, заходящие в реку с середины августа, характеризуются примерно равным соотношением полов. Семга более позднего осеннего хода состоит главным образом из самок (85-95%). Браконьерский промысел ведется круглый год и затрагивает в основном осеннюю семгу, которая формирует фонд икры.

Поскольку собрать достоверную информацию по нелегальному лову невозможно, некоторые исследователи использовали для этого косвенные способы. Так, В.Г. Мартынов и А.Б. Захаров (1990) оценивали ущерб от браконьерства в реке Печоре на основании данных анкетного опроса местных жителей. А.В. Зубченко и О.Г. Кузьмин (1994) при оценке величины незаконного лова в р. Умба использовали в расчетах данные промысловой статистики и материалы инспекции рыбоохраны. При определении величины пресса незаконного лова в реках Кола и Тулома, было использовано сопоставление фактических данных по численности молоди с расчетными (Zubchenko, 1994; Zubchenko et al., 1995).

Между тем, имея достаточные данные по биологии семги и статистике промысла, можно сделать объективную оценку нелегального лова с помощью имитационного математического моделирования. Этот метод нашел широкое применение для изучения динамики численности и оптимизации промысла различных рыб (Криксунов, Снетков, 1985; Бобырев, Криксунов, 1996; Алексеев, 2003) и доказал свою состоятельность. Поэтому целью настоящей работы является определение относительной величины нелегального изъятия семги в реке Умба на основе изучения поведения ее модельной популяции в условиях промысла различного характера и интенсивности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели, нами была разработана и реализована математическая модель, блок-схема которой представлена на рисунке 1. Модель состоит из функциональных разделов, описывающих формирование пополнения, естественную смертность на мальковом этапе жизни, в период постсмолта и морского нагула, промысловую смертность, процесс полового созревания и формирование нерестового стада. Каждый последующий раздел оперирует данными, полученными предыдущим и, в свою очередь, формирует исходные

данные для последующего. Схема модели повторяет мозаичную возрастную структуру, присущую семге, и охватывает период в 110 лет.

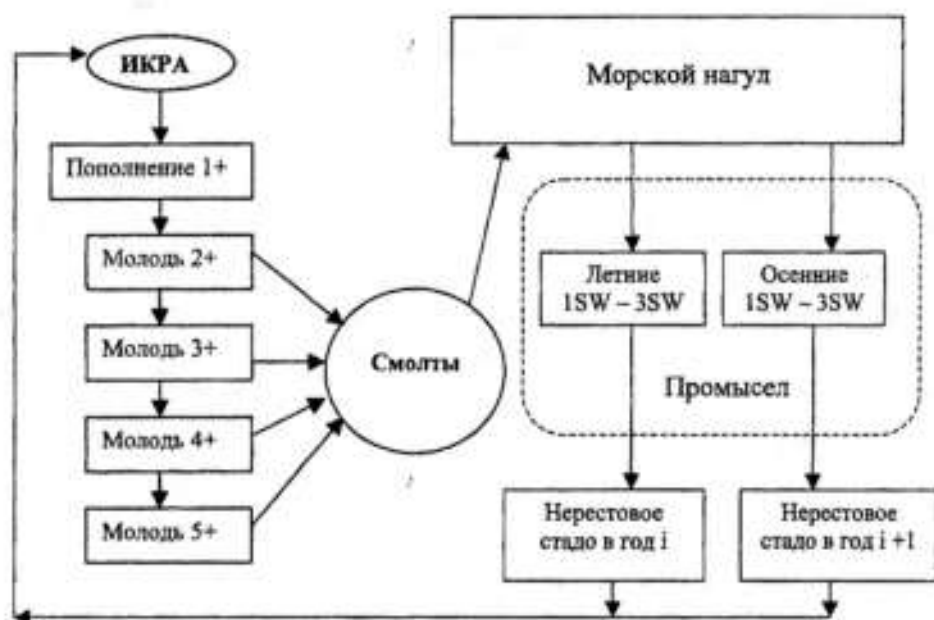


Рис. 1. Блок-схема модели.

Fig. 1. Model block diagram.

Популяционная плодовитость определяется как сумма произведений средневзвешенных значений индивидуальной абсолютной плодовитости самок данного возраста на долю самок этого возраста в нерестовом стаде. Процесс формирования пополнения выражен уравнением Рикера:  $N_i = AEe^{(-BF)}$ , где  $N_i$  — величина пополнения в год  $i$  (молодь в возрасте 1 год),  $E$  — величина запаса (количество икры, содержащейся в самках, составляющих нерестовое стадо),  $A$  и  $B$  — коэффициенты, выражающие, соответственно, независимую от плотности естественную смертность и зависящую от нее.

Значение коэффициентов в уравнении пополнения задавались методом подбора таким образом, чтобы в условиях отсутствия промысловой нагрузки среднее значение результирующего показателя (численности нерестового стада) находилось на уровне 40% от расчетной потенциальной. Такое соотношение среднегодовой и потенциальной численности, в общем, характерно для не затронутых промыслом лососевых популяций.

Естественная ежегодная убыль ( $M$ ) в период речной жизни, начиная от годовика до смолта, а также смертность взрослых рыб в период после первого года морского нагула (1SW) описывалась уравнением:  $N_{t+1} = N_t e^{-M}$ . Мгновенный коэффициент естественной смертности в эти периоды полагался постоянным (0,2 год<sup>-1</sup>). Естественная смертность на этапе от смолта до окончания первого года морского нагула задана величиной (2,26 год<sup>-1</sup>) на основании данных мечения

(Яковенко, 1976). Процентное соотношение смолтов, скатывающихся в море в том или ином возрасте, определялось по среднемуголетним величинам:  $Sm_k = SM \times P_k$ , где  $Sm_k$  – количество смолтов в возрасте  $k$ ,  $SM$  – общее число смолтов,  $P_k$  – доля смолтов в возрасте  $k$ . Аналогичным образом описывалось относительное количество рыб разного возраста, достигших начала полового созревания и совершающих нерестовую миграцию. Модель учитывает различное соотношение полов лососей, относящихся к разным расам. Промыслом (легальным и нелегальным раздельно) изымается задаваемое количество нерестовых мигрантов, что в общем виде описывалось, как:  $C = RUNe^{-F}$ , где  $C$  – величина улова,  $RUN$  – численность мигрирующей на нерест семги,  $F$  – мгновенный коэффициент промысловой смертности. Нелегальный промысел в модели распространяется только на осеннюю семгу. Не изъятая промыслом часть нерестового стада формирует последующий фонд икры, с учетом того, что осенняя семга нерестится на год позже летней. Алгоритм вычислений и графическое отображение полученных результатов создавались с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

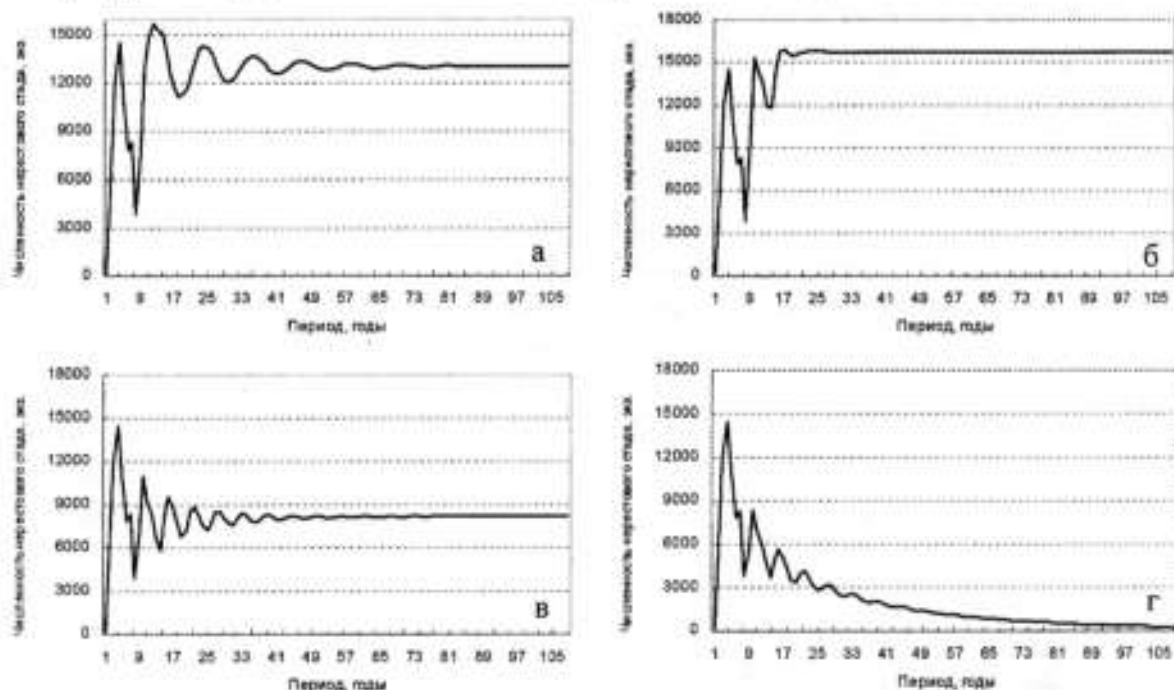
Поведение модельной популяции исследовалось при неизменных условиях жизни и их переменных изменениях, в качестве которых были использованы различные промысловые нагрузки – от нулевых до предельных. Промысловая смертность задавалась либо равномерно для всех лососей (легальный лов), либо селективно – только для лососей осенней расы (нелегальный лов), либо обоими способами одновременно.

В условиях отсутствия промысла и неизменных условиях жизни для популяции лосося реки Умба свойственны незначительные затухающие автоколебания (рис. 2а).

При введении даже небольших значений коэффициента промысловой смертности ( $0,2 \text{ год}^{-1}$  и более) популяция приходит в равновесное состояние, а ее численность возрастает, достигая наибольшего значения при равномерном изъятии 50% нерестового запаса (рис. 2б). Дальнейшее увеличение промысловой смертности ведет к возобновлению затухающих автоколебаний и постепенному снижению численности лососей, а, начиная со значений  $F$ , соответствующих уровню изъятия 85% – к скачкообразному переходу системы в неравновесное состояние и подрыву запаса (рис. 2в, 2г).

Результаты модельных экспериментов, отражающих воздействие промысла, базирующегося на семге осеннего хода, представлены на рисунке 3. Видно, что ущерб для популяции от такого промысла приблизительно в 2-3 раза выше, чем от равномерного изъятия семги всех биологических групп. Тем не менее, критический уровень промысловой смертности, после которого наступает

вымирание популяции, отличается незначительно при том и другом виде лова и варьирует в пределах 82-85% изъятия нерестового стада.



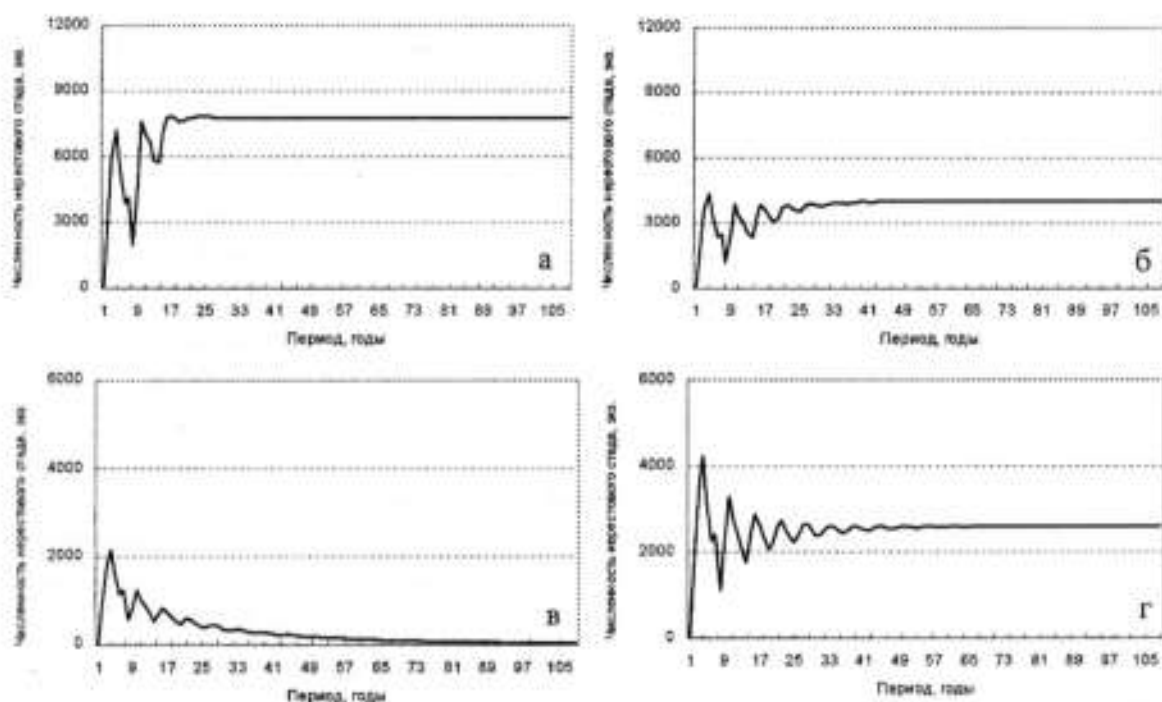
**Рис. 2.** Поведение модельной популяции в условиях отсутствия промысла (а) и при равномерном изъятии: б – 50%, в – 78%, г – 85% нерестового стада.

**Fig. 2.** Model population behaviour in the conditions of fishery lack (a) and with a steady withdrawal: б – 50%, в – 78%, г – 85% of the spawning stock.

Чтобы определить величину нелегального промысла семги р. Умба в настоящее время, был проведен модельный эксперимент. При этом, поскольку некоторая часть нерестового стада вылавливается легально – для нужд рыбоводного завода, для лова по принципу «поймал-отпустил» и «поймал-изъял», а также на морских тоневых участках, в модель была включена постоянная величина смертности от перечисленных видов промысла. Эта смертность наступает в результате неселективного промысла, а величину изъятия в этом случае уместно принять за 20-30% от нерестового стада. Весь остальной вылов отнесен к категории нелегального (браконьерского). Коэффициент смертности от селективного лова был подобран таким образом, чтобы средняя величина результирующего показателя в модели была равна 2 500-2 700 экземплярам, то есть соответствовала бы уровню, наблюдаемому в последние годы. В результате выявлено, что модельная популяция стабилизируется на заданном уровне при величине промысловой смертности 1,1-1,3 год<sup>-1</sup>, что соответствует изъятию примерно 67-73% лососей осенней биологической группы (рис. 3г).

Полученный нами результат вполне соответствует действительной ситуации, сложившейся на этой реке, и сопоставим с данными для популяций лосося других рек. В частности, для Печоры уровень нелегального изъятия определен в 30-50% (Мартынов Захаров, 1990). По оценке Р.В. Казакова (1983),

незаконный вылов семги в пределах Северо-запада России достигает 50%, а порой и 100%. По расчетам А.В. Зубченко (Zubchenko, 1994), пресс незаконного вылова в бассейне р. Тулома в 1992 г. составлял около 25%, а в 1991 г. – около 50%. В р. Кола аналогичный показатель в 1991-1993 гг. составил 25-33% (Zubchenko et al., 1995). Для р. Умба уровень нелегального изъятия семги определен на уровне 26% (Зубченко, Кузьмин, 1994).



**Рис. 3.** Поведение модельной популяции в условиях селективного промысла: а – 50%, б – 78%, в – 85% изъятия нерестового стада, г – 72% изъятия селективным промыслом и 20% – неселективным.

**Fig. 3.** Model population behaviour in the conditions of selective fishery: а – 50%, б – 78%, в – 85% of the spawning stock withdrawal, г – 72% of withdrawal in selective and 20% in non-selective fishery.

Результаты имитационного моделирования находят также косвенное подтверждение. Так, при проведении контрольных обловов на стандартных участках реки Умба с помощью электроловильного аппарата в последние годы зачастую наблюдается отсутствие молоди, либо значительное (в разы) уменьшение плотности ее расселения. Это может быть вызвано только уменьшением численности производителей, поскольку прочие факторы, которые могут негативно повлиять на воспроизводство семги (загрязнение, гидростроительство и т.д.), здесь отсутствуют.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный способ оценки нелегального вылова семги с помощью имитационного моделирования представляется приемлемым и может быть использован для аналогичных расчетов по другим рекам. Кроме того, поведение

модельной популяции семги р. Умба, с заданными параметрами современной биологической структуры, подтвердило опасения, что в последнее десятилетие пресс нелегального вылова вырос почти втрое и значительно превышает легальное изъятие. Это требует принятия экстренных мер по усилению охраны реки, увеличению эффективности рыбоводных работ, дальнейшему развитию рекреационного рыболовства и решению социально-экономических проблем в регионе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Алексеев М.Ю.* Изучение динамики численности нерестового стада атлантического лосося реки Тулома с помощью математической модели // Вопросы рыболовства. 2003. Т. 4. №2(14). С. 246-263.

*Алексеев М.Ю., Криксунов Е.А.* Современное состояние стада семги реки Умба. В кн.: Адаптация и эволюция живого населения полярных морей в условиях океанического перигляциала. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. С. 224-231.

*Бобырев А.Е., Криксунов Е.А.* Математическое моделирование динамики популяций рыб с переменным темпом пополнения. М.: Наука, 1996. 131 с.

*Зубченко А.В., Кузьмин О.Г.* Репродуктивный потенциал и состояние запасов атлантического лосося реки Умбы. Систематика, биология и биотехника разведения лососевых рыб. Мат. 5-го Всерос. совещания. СПб., 1994. С. 78-81.

*Казаков Р.В.* Задачи и структура комплексных исследований анадромных лососей рода *Salmo*. Морфология, структура популяций и пробл. рацион. использ. лососевидных рыб. Тез. координац. совещ. по лососевидным рыбам. Л., 1983. С. 85-87.

*Криксунов Е.А., Снетков М.А.* Расширенная модель формирования пополнения нерестового стада рыб. М.: Наука, 1985. С. 46-55.

*Мартынов В.Г., Захаров А.Б.* Оценка незаконного вылова семги в бассейне реки Печора по результатам анкетного опроса. Симпозиум по атлантическому лососю. Сыктывкар, 1990. С. 28.

*Яковенко М.Я.* Выживаемость атлантического лосося при естественном воспроизводстве // Тр. ВНИРО. М.: Пищевая промышленность, 1976. Т. CXIII. С. 43-45.

*Zubchenko A.V.* Salmon-bearing rivers of the Kola peninsula, their reproductive potential and Atlantic Salmon stock state in the river Tuloma. ICES: C.M. 1994/M:24. 6 p.

*Zubchenko A.V., Shustov Yu.A., Bakulina A.E.* Salmon rivers of the Kola peninsula, reproductive potential and stock status of the Atlantic Salmon from the Kola river. ICES: C.M. 1995/M:38. 8 p.

**ESTIMATES OF ILLEGAL CATCHING OF ATLANTIC SALMON  
(*SALMO SALAR*) IN RIVER UMBА BY SIMULATION MODEL**

© 2006 y. M. Yu. Alekseev<sup>1</sup>, A. V. Zubchenko<sup>1</sup>, E. A. Kriksunov<sup>2</sup>

*1 – The Polar Research Institute of Marine Fisheries  
and Oceanography, Murmansk*

*2 – Biological faculty of the Moscow State University, Moscow*

The illegal fishery of salmon in River Umba (the Murman Region, the White Sea Bassin) was evaluated. The imitation mathematical modeling was offered as a method of estimation. It was shown that the illegal fishery was selective since it was based on salmon from the autumn race which mainly consisted of females. In accordance with the results of model experiments, the portion of salmon caught during the illegal fishery in River Umba made up 70% of the spawning stock. The obtained results explain the decrease in juvenile abundance in the river and agree with the data presented by the number of authors. The offered method of estimation may be used for the same calculations in the other rivers.