
ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫСЛА

УДК 597.562-152.6.08(268.45)

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО УСТОЙЧИВОГО УЛОВА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ

© 2006 г. Ю.А. Ковалев

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

Поступила в редакцию 11.04.2006 г.

Окончательный вариант получен 09.06.2006 г.

Разработана модель популяции и промысла трески Баренцева моря *Gadus morhua morhua* для определения уровня максимального долгосрочного улова и соответствующей ему промысловой смертности (F). В полной конфигурации модели с учетом всех процессов, как функций плотности популяции трески, оценка максимального долгосрочного улова составила – 660 тыс. т, а F – 0,49. Существенное влияние на эти параметры оказывает уровень естественной смертности молоди трески от каннибализма. При отсутствии каннибализма эти оценки составили – 890 тыс. т и 0,34. Сделан вывод о необходимости учета в модели значимых факторов, обусловленных как внутривидовыми, так и межвидовыми взаимоотношениями трески и ее объектов питания. Эксплуатация запаса трески на уровне, рекомендуемом ИКЕС и принятом на 32, 33 и 34-й сессиях СРНК, в долгосрочной перспективе обеспечивает улов, близкий к максимально возможному. Целесообразно придерживаться выбранной стратегии эксплуатации запаса, используя согласованное СРНК правило регулирования вылова.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка стратегии рыбного промысла, обеспечивающей максимизацию среднего улова, при условии сохранения последнего на таком уровне в течение неограниченно долгого периода времени – одна из самых актуальных задач рыбохозяйственной науки (Основные принципы..., 2002). Исследователи трески Баренцева моря неоднократно оценивали оптимальный уровень эксплуатации запасов (Третьяк, 1987; Ковалев, Коржев, 2002). Результаты этих исследований свидетельствуют о значительном влиянии на оценки максимального вылова и соответствующей ему промысловой смертности (уровня эксплуатации) таких параметров популяции, как пополнение, темп весового роста, скорость полового созревания и уровень естественной смертности. Рассмотрение этих параметров, как констант – усредненных значений за рассматриваемый период, или величин, зависящих от плотности популяции, дает существенно различающиеся результаты. Известно, что многие из параметров популяции баренцевоморской трески зависят от ее плотности (Ковалев, Ярагина, 2003), поэтому оценки оптимального улова должны быть определены с учетом наиболее значимых процессов, происходящих при уменьшении плотности популяции под воздействием возрастающей интенсивности промысла.

Цель работы – определить величину возможного максимального долгосрочного улова и соответствующего ему уровня промысловой смертности трески Баренцева моря. Метод достижения поставленной задачи – моделирование динамики популяции и промысла.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Оценки численности, биомассы нерестового запаса, коэффициентов естественной и промысловой смертности, средней массы одного экземпляра и доли половозрелых рыб в каждой возрастной группе приведены по материалам Рабочей Группы ИКЕС по арктическому рыболовству за 2004 г. (Anon., 2004). Используются данные о динамике численности трески и значениях биологических параметров за период с 1946 по 2003 гг. Исключение составляют оценки уровня каннибализма, имеющиеся для периода после 1984 г.

Аппроксимацию приводимых в работе зависимостей математическими функциями, статистические расчеты и построение модели баренцевоморской популяции трески и моделирование промысла выполняли с помощью программных средств Excel.

Величину максимального улова оценивали, как среднееголетний показатель по результатам расчетов в модели.

Структура и входные данные модели

Основные функциональные блоки модели популяции трески были разработаны в рамках совместного российско-норвежского проекта по оценке правила регулирования вылова трески (Anon., 2004), сформулированного на 31 и 33 сессиях Смешанной российско-норвежской комиссии по рыболовству, и заимствованы из нашей предыдущей работы, посвященной проблеме оптимизации вылова трески (Ковалев, Коржев, 2002).

Стартовые данные и период. Стартовым годом модели был выбран 2004 г. Расчеты по модели выполняли на сто лет вперед, с шагом 1 год. Для анализа использовали данные за последние 50 лет, чтобы исключить влияние стартовых значений на результат. Проверку модели на чувствительность к стартовым значениям проводили при их увеличении/уменьшении в полтора раза и подтвердили независимость полученных результатов.

Основные уравнения динамики моделируемой популяции трески. Расчет общей биомассы запаса, биомассы половозрелых рыб (SSB), массы улова и моделирование динамики численности трески выполняли с применением уравнений, используемых в модели ВПА (Darby, Flatman, 1994). Уровень промысловой смертности задан, как входной параметр модели, постоянный для всего моделируемого периода, а распределение промысловой смертности по возрастам принято равным среднееголетним значениям.

Зависимость запас-пополнение

В качестве основной функции, описывающей общие закономерности изменения численности пополнения трески (возраст 3 года) в зависимости от изменения биомассы нерестового запаса, была выбрана функция Бивертон-Холта, поскольку она имела минимальную сумму квадратов отклонений от наблюдаемых значений за весь рассматриваемый период (1946-2003 гг.) и наиболее реалистично описывала динамику пополнения в области средних и больших значений SSB . Данная функция позволила описать лишь 29% дисперсии пополнения и, следовательно, малоприспособна для моделирования динамики численности трески. Исследование остатков (отклонений наблюдаемых значений пополнения от моделируемых по этой функции) позволяет заметить тенденцию к некоторому уменьшению средней численности пополнения во времени и выраженную цикличность в урожайности поколений трески (рис. 1).

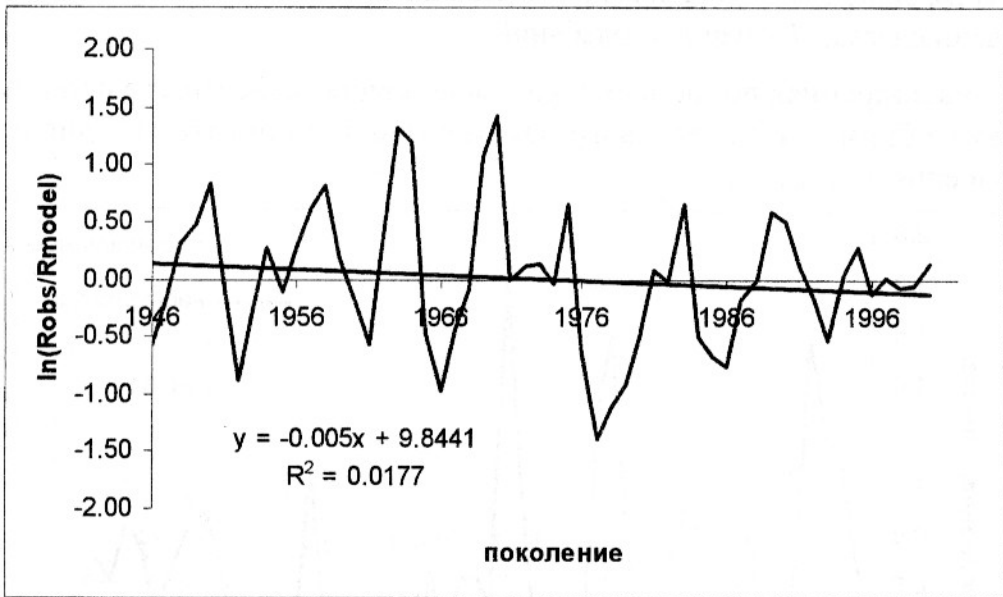


Рис. 1. Тенденции в значениях отклонений логарифмов пополнений, описанных уравнением Бивертон-Холта, от логарифмов наблюдаемых значений. ($\ln(R_{obs}/R_{model})$ – натуральный логарифм отношения наблюдаемого пополнения к моделируемому).

Fig. 1. Trends in deviations in logarithmic recruitment described by the Beverton-Holt's equation in comparison with the observed values.

Наблюдаемый линейный тренд (рис. 1) статистически незначим и был исключен из рассмотрения.

Описание цикличности в пополнении трески. Цикличность в изменчивости пополнения свидетельствует о том, что после появления ряда урожайных поколений трески, будет с высокой вероятностью существенное снижение численности рекрутов и наоборот. Это явление может быть обусловлено, как факторами, зависящими от плотности популяции, за счет усиления пищевой конкуренции, возникновения эпизоотий и других механизмов, так и за счет

циклическости внешних факторов, влияющих на урожайность поколений трески, например таких, как температура воды. Объяснение механизмов этого явления имеет несомненное значение для более детального и реалистичного описания процесса пополнения запаса трески, однако на данном этапе мы ограничились его статистическим описанием и упрощенной имитацией в модели динамики численности. Циклическая составляющая в пополнении может быть описана уравнением:

$$R_3(\text{year} + 3) = f(SSB(\text{year}))e^{A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(\text{year}-1946+\varphi)}{T}\right)} \quad (1)$$

где $SSB(\text{year})$ – биомасса нерестового запаса в году year , $R_3(\text{year}+3)$ – пополнение запаса в возрасте 3 года в году $\text{year}+3$, $f(SSB)$ – основная функция зависимости запас-пополнение (в данном случае модель Бивертон-Холта), A – параметр, определяющий размах колебаний синусоиды (амплитуда), φ – параметр, определяющий смещение колебаний относительно стартового 1946 г. (смещение/фаза), T – период колебаний.

Расширенная подобным образом, функция зависимости пополнения трески от биомассы нерестового запаса позволяет описать 51% дисперсии пополнения (рис. 2).

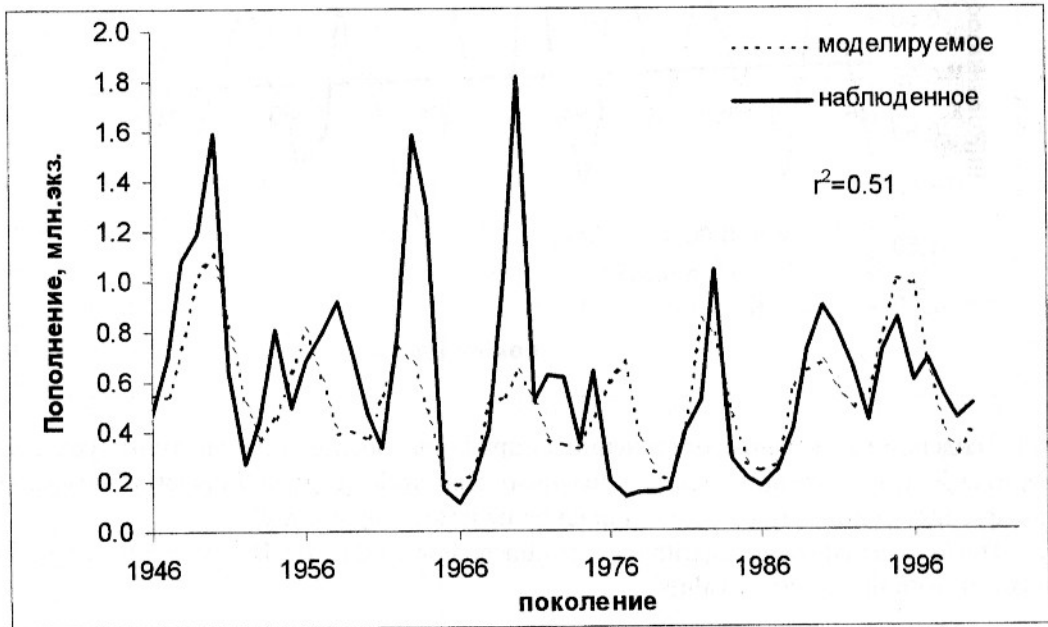


Рис. 2. Наблюдаемые значения пополнения и моделируемые с использованием уравнения Бивертон-Холта и включением циклической составляющей.
 Fig. 2. Estimates of recruitment observed and modeled using the Beverton-Holt's equation and with incorporation of cyclic component.

Зависимость средней массы трески от плотности популяции

Моделирование средней массы рыб в запасах. В течение периода 1946-1980 гг. отмечены значимые тренды в ряде биологических параметров популяции трески Баренцева моря. Присутствует тенденция к снижению средней массы

трески при увеличении общей биомассы ее запаса (плотности популяции) (Ковалев, Ярагина, 2003). Принимая во внимание данную тенденцию, мы использовали линейные функции (уравнение 2) для описания изменений средней массы трески в модели для возрастных групп 6-13+ лет, для которых коэффициенты корреляции статистически значимы (табл. 1, рис. 3).

$$ws_{age,year} = \alpha_{age} TSB_{year-1} + \beta_{age} \quad (2)$$

где $ws_{age,year}$ – средняя масса трески возраста age в году $year$, TSB_{year-1} – общая биомасса запаса трески в начале предшествующего года, α и β – параметры, определяемые для каждой возрастной группы.

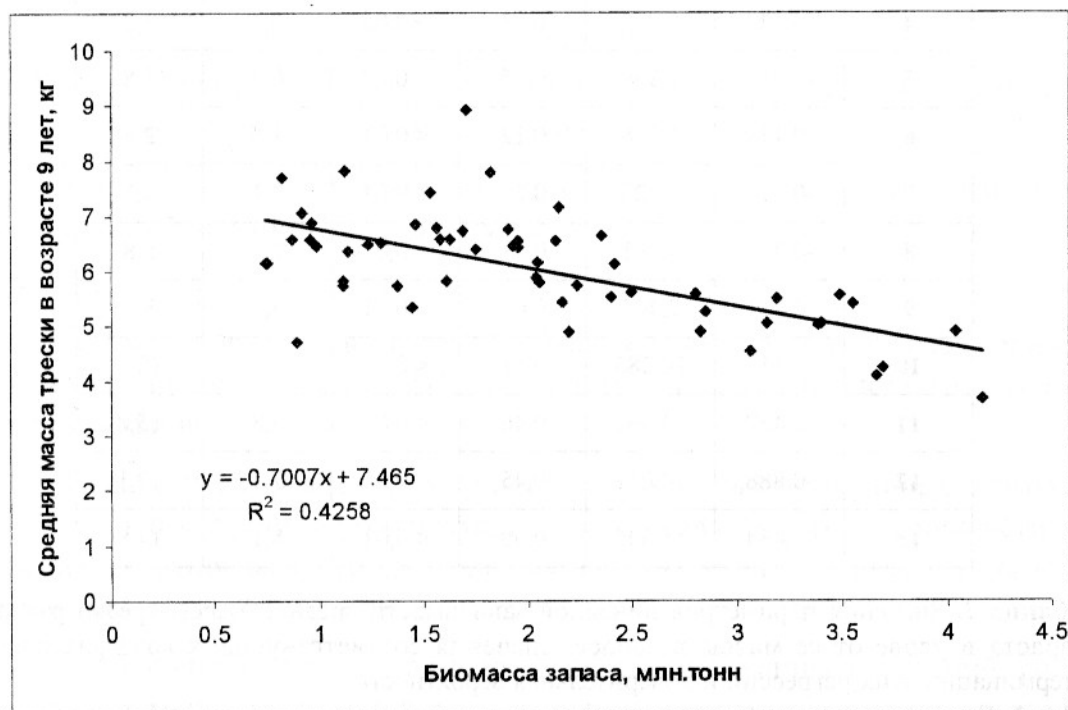


Рис. 3. Тенденции в значениях средней массы трески в возрасте 9 лет в зависимости от общей биомассы запаса в предшествующий год.

Fig. 3. Trends in the mean weight of cod at age 9 in dependence on the total stock biomass in the preceding year.

Данные линейные регрессии могут давать неадекватные оценки средней массы при значениях биомассы запаса, существенно отличающихся от наблюдаемых. Для предотвращения появления нереально низких/высоких значений средней массы в модели используются верхняя и нижняя границы их изменчивости, взятые как минимальное и максимальное наблюдаемые значения для каждого возраста на всем рассматриваемом периоде (1946-2003 гг.).

Средние массы трески в возрастных группах, для которых не отмечено статистически значимых трендов (табл. 1, возраста 3-5 лет), включены в модель, как осредненные за весь период значения.

Таблица 1. Значения параметров линейной зависимости средней массы трески разного возраста от общей биомассы запаса, значения соответствующих коэффициентов детерминации этих регрессий, доверительная вероятность, минимальные и максимальные наблюдаемые значения средней массы.

Table 1. Estimates of parameters of linear dependence of mean weight of cod at different age on the total stock biomass; estimates of respective determination coefficients of these regressions, confidence probability; the highest and the lowest observed mean weight values.

Возраст	α_a	β_a	R^2	p	средняя масса, кг	
					мин	макс
3	0,010	0,321	0,01	> 0,05	0,2	0,5
4	-0,032	0,762	0,03	> 0,05	0,4	1,2
5	-0,059	1,379	0,05	> 0,05	0,8	1,8
6	-0,119	2,288	0,12	< 0,01	1,5	2,8
7	-0,214	3,529	0,21	< 0,01	2,1	4,1
8	-0,371	5,191	0,28	< 0,01	2,9	5,8
9	-0,701	7,465	0,43	< 0,01	3,7	8,9
10	-1,112	10,286	0,41	< 0,01	4,6	12,2
11	-1,427	12,365	0,46	< 0,01	5,8	15,0
12	-0,888	12,062	0,45	< 0,01	7,1	12,1
13	-1,434	15,545	0,59	< 0,01	8,1	14,8

Таблица 2. Значения параметров линейной зависимости средней массы трески разного возраста в улове от ее массы в запасе, значения соответствующих коэффициентов детерминации этих регрессий и доверительная вероятность.

Table 2. Estimates of parameters of linear dependence of mean weight of cod at different age and in catch from its weight in stock; estimates of respective determination coefficients of these regressions and confidence probability.

Возраст	α_a	β_a	R^2	p
3	1,671	0,295	0,59	< 0,01
4	0,927	0,565	0,81	< 0,01
5	0,975	0,495	0,89	< 0,01
6	0,891	0,605	0,89	< 0,01
7	0,794	0,972	0,64	< 0,01
8	0,653	1,933	0,56	< 0,01

Моделирование средней массы рыб в улове. Между средней массой трески в запасе и в улове существует тесная связь (табл. 2). Моделирование изменений средней массы трески в уловах для возрастных групп 3-8 лет, для которых

коэффициенты корреляции статистически значимы, выполнено с использованием уравнения линейной связи. В связи с небольшим объемом наблюдений, статистические зависимости между массой в запасе и в улове для рыб старше 8 лет незначимы. Среднюю массу трески в уловах в возрастных группах старше 8 лет принимали равной средней массе трески этого возраста в запасе.

Зависимость скорости полового созревания от плотности популяции

Для моделирования процесса полового созревания трески были использованы два уравнения (3, 4). Доля половозрелых особей в каждой возрастной группе поколения представлена как:

$$Mat_{age} = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(age - age\ 50\%)}} \quad (3)$$

где Mat_{age} – доля половозрелой рыбы в возрасте age , $age\ 50\%$ – возраст, в котором 50% особей половозрелые, λ – коэффициент.

Возраст 50% созревания поколений представлен, как линейно зависимый от плотности популяции (биомассы запаса):

$$age\ 50\%_{(year)} = b * TSB_{(year-2)} + c \quad (4)$$

где $age\ 50\%_{(year)}$ – возраст, в котором 50% особей поколения $year$ года рождения становятся половозрелыми, $TSB_{(year-2)}$ – биомасса запаса трески в году $year-2$, b и c – коэффициенты.

Параметр λ в уравнении (3) отличается для разных поколений. Однако нам не удалось найти приемлемого подхода для представления его изменчивости, и в модели популяции было использовано постоянное значение параметра для всего периода наблюдений.

Изменчивость параметра «возраст 50%-го созревания» поколений трески довольно хорошо согласуется с изменчивостью общей биомассы ее запаса (рис. 4), что и позволило представить его в модели уравнением (4). При исследовании данной зависимости было выбрано обеспечивающее максимальный коэффициент детерминации смещение предиктора в -2 года.

Нижний предел возраста 50%-го созревания трески по уравнению 4 (пересечение с осью y) может составить чуть более 6 лет, и находится близко к области наблюдаемых значений. Верхний же предел функции не определен и может достигать нереально больших значений в области экстраполяции данных, когда моделируется низкая промысловая смертность. Для предотвращения появления нереально больших значений этого параметра был задан верхний предел его возможных изменений, близки к максимальной наблюдаемой величине -11 лет.

Моделирование естественной смертности молоди трески

Для моделирования изменчивости естественной смертности молоди трески (возраст 3-5 лет) от хищничества трески старшего возраста (каннибализма) были

использованы линейные зависимости. В качестве индекса численности хищников приняты биомасса запаса трески в возрасте 6-9 лет, общая биомасса запаса, биомасса нерестового запаса. Наиболее тесная статистическая связь наблюдалась с биомассой нерестового запаса трески, взятой с лагом -3 года. Коэффициенты детерминации при использовании SSB в качестве предиктора на всем периоде наблюдений составили: для трехлеток - 0,74, для возраста 4 - 0,73, пятилеток - 0,39.

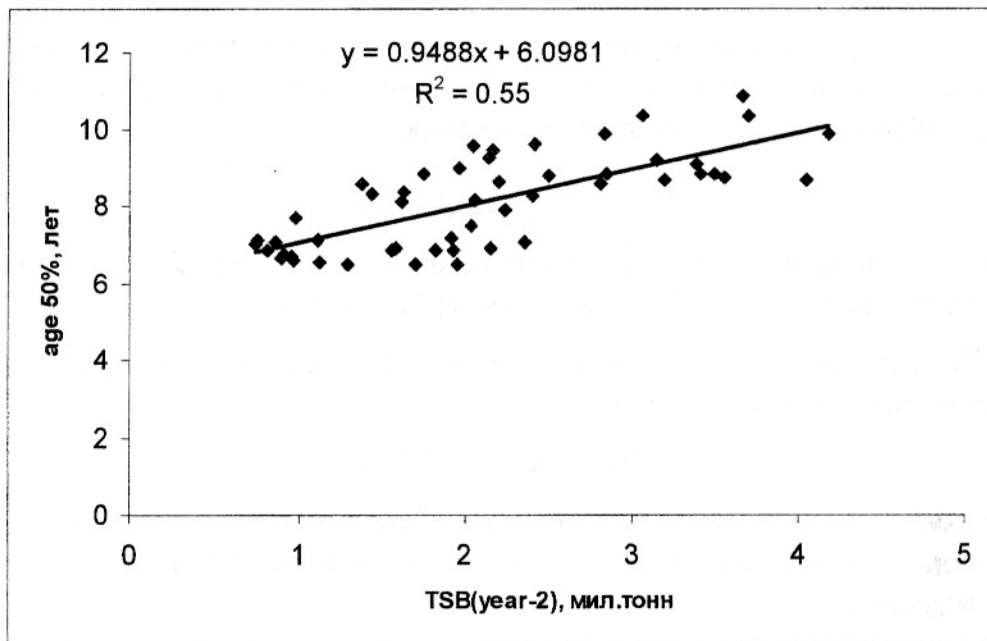


Рис. 4. Зависимость возраста 50%-го созревания ($age\ 50\%$) поколений трески года рождения $year$ от общей биомассы ее запаса ($TSB_{(year-2)}$) в году $year-2$.

Fig. 4. Dependence of $age\ 50\%$ maturity of cod yearclasses born in $year$ on the total stock biomass ($TSB_{(year-2)}$) in $year-2$.

Уравнение зависимости естественной смертности молоди трески от каннибализма:

$$M_{(age, year)} = b * SSB_{(year-3)} + c \quad (5)$$

где $M_{(age)}$ – естественная смертность трески в возрасте age , в году $year$, $SSB_{(year-3)}$ – биомасса нерестового запаса трески в году $year-3$, b и c – коэффициенты.

Несмотря на четко выраженную статистическую связь, использование данной зависимости в модели популяции трески имеет ряд сложностей. Механизм ее возникновения не установлен и, по-видимому, имеет сложную, комплексную природу. Вариация наблюдаемых значений SSB в рассматриваемый период не очень велика (118-870 тыс. т), что соответствует относительно стабильному и высокому уровню промыслового изъятия. При моделировании ситуаций существенного снижения промысловой смертности значения SSB могут значительно превосходить этот диапазон, что будет приводить к возрастанию моделируемой естественной смертности молоди трески до нереально высоких значений. Кроме того, высокие

уровни каннибализма в период наблюдений, как правило, совпадали с низкой биомассой запаса мойвы – одного из наиболее значимых объектов питания трески и неясно, каким будет уровень каннибализма при совпадении высокой биомассы трески и мойвы. Принимая во внимание все эти обстоятельства, был выполнен расчет в двух вариантах модели.

В первом, мы использовали модель линейного изменения естественной смертности молоди трески в зависимости от SSB для оценки возможного максимального среднесезонного вылова трески, что можно считать вариантом расчета при условии плохого состояния запаса мойвы. Для предотвращения влияния на результат нереально высоких уровней естественной смертности были введены верхние пределы ее возможного значения, близкие к максимальным наблюдаемым (0,8; 0,45 и 0,3 для возрастов 3-5, соответственно). Нижний предел был принят равным 0,2 для всех возрастов.

Во втором варианте расчетов, для получения оценок возможного максимального вылова, получаемого при высокой биомассе мойвы, принимали допущение об отсутствии каннибализма трески в этот период: естественная смертность принималась постоянной и равной 0,2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка максимального улова с использованием биологического ориентира F_{msy}

Оценки ориентира F_{msy} и соответствующего уровня максимального устойчивого улова можно рассчитывать по продукционной модели или при комбинировании зависимости запас-пополнение с функциями улова и SSB на рекрута (Аноп., 1997). Для оценки этого ориентира мы использовали вариант приведенной выше модели, в котором все параметры популяции фигурируют, как константы, за исключением зависимости запас-пополнение. С использованием параметров, осредненных за период 1946-2003 гг., F_{msy} оценка составила 0,18, а соответствующий средний улов – 1 300 тыс. т. Для периода 1984-2003 гг. оценка среднего вылова несколько ниже – 1 270 тыс. т, а соответствующее значение промысловой смертности равно 0,2.

Оценка максимального улова с использованием модели, учитывающей плотность популяции

Вариант 1. В модель включены все процессы

В качестве основного варианта принят расчет, включающий описание всех выше перечисленных процессов, как функций плотности популяции трески. Оценка максимального долгосрочного улова (средний улов за последние 50 лет моделируемого периода) составила 660 тыс. т, а соответствующий ему уровень промысловой смертности – 0,49 (рис. 5).

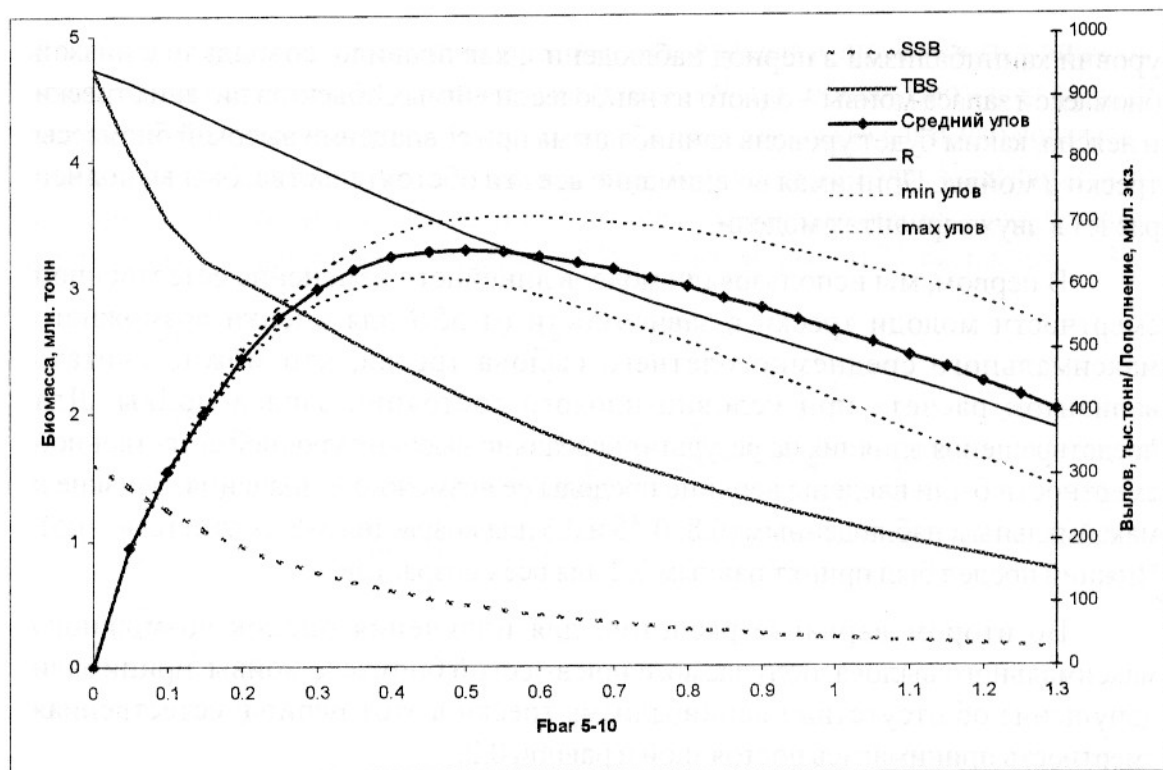


Рис. 5. Зависимость осредненных значений улова, общей биомассы запаса (*TSB*), биомассы нерестового запаса (*SSB*) и численности пополнения (*R*) от промысловой смертности, оцениваемая по модели в полной конфигурации (тонкой пунктирной линией обозначены верхняя и нижняя границы колебания уловов, *Fbar 5-10* – средняя промысловая смертность в возрастных группах от 5 до 10 лет).

Fig. 5. Dependence on average catch estimates, total stock biomass (*TSB*), spawning stock biomass (*SSB*) and recruitment (*R*) on fishing mortality evaluated using the model of full configuration (fine dotted line denotes the upper and lower limits of catch variation range).

В соответствии с расчетами запас трески при таком режиме эксплуатации будет находиться на уровне около 2 млн. т, средняя величина нерестового запаса составит 500 тыс. т, а средняя численность пополнения будет около 700 млн. экз. Межгодовая изменчивость уловов (вызванная изменчивостью биомассы запаса) возрастает при увеличении промысловой смертности, достигая амплитуды в 250 тыс. т при $F > 1$. Следует отметить, что полученная в модели амплитуда колебания пополнения и, соответственно, запаса и улова ниже реально наблюдаемой (рис. 2) поскольку случайная составляющая нами не смоделирована, и для более точной оценки изменений биомассы запаса и уловов необходимо включить в модель случайную составляющую в изменчивости параметров.

Вариант 2. Без учета каннибализма

В соответствии с расчетами, без каннибализма максимальный долгосрочный улов трески может составить 890 тыс. т (рис. 6). Соответствующее значение промысловой смертности ниже, чем при зависящем от плотности популяции уровне естественной смертности трески, и составляет 0,34.

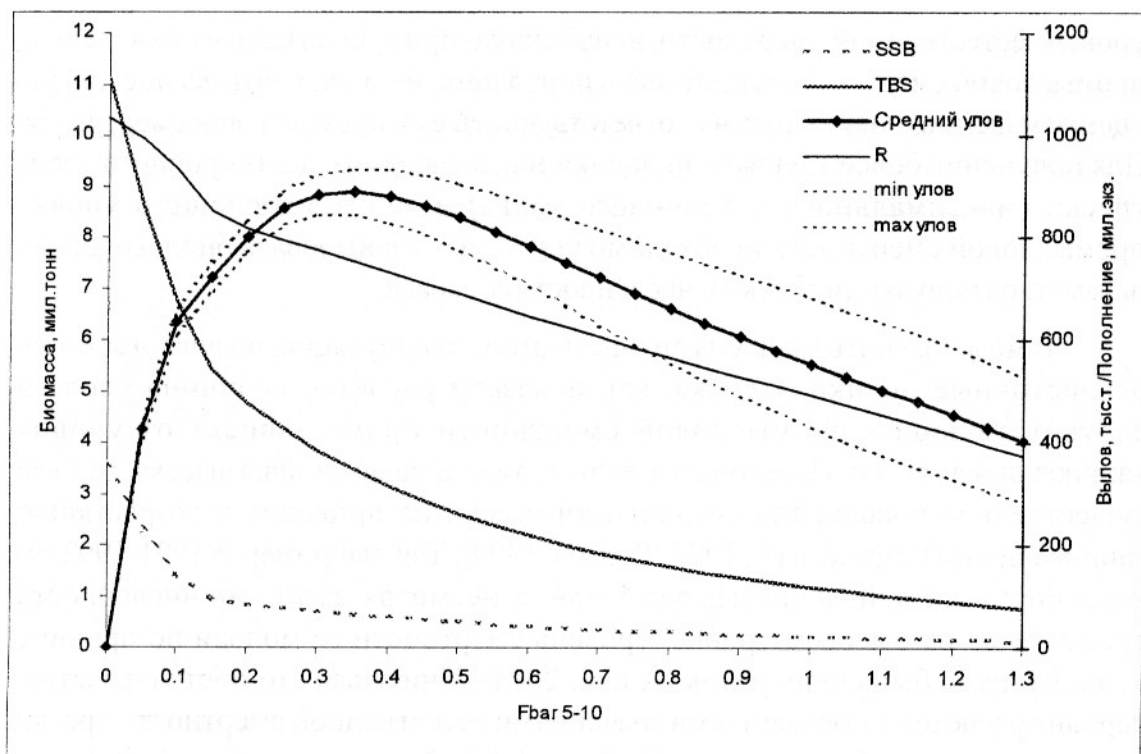


Рис. 6. Зависимость осредненных значений улова, общей биомассы запаса (*TSB*), биомассы нерестового запаса (*SSB*) и численности пополнения (*R*) от промысловой смертности, оцениваемая по модели в полной конфигурации, но без учета каннибализма (тонкой пунктирной линией обозначены верхняя и нижняя границы колебания уловов, $F_{bar\ 5-10}$ – средняя промысловая смертность в возрастных группах от 5 до 10 лет).

Fig. 6. Dependence on average catch estimates, total stock biomass (*TSB*), spawning stock biomass (*SSB*) and recruitment (*R*) on fishing mortality evaluated using the model of full configuration but without cannibalism (fine dotted line denotes the upper and lower limits of catch variation range).

Запас трески при таком режиме эксплуатации должен находиться на уровне около 3,5 млн. т, средняя величина нерестового запаса составит 650 тыс. т, а средняя численность пополнения будет несколько выше 760 млн. экз. Динамика улова после достижения максимума кривой хорошо согласуется с динамикой численности пополнения, которое в данной области начинает играть все большую роль. Максимум кривой зависимости среднего улова от промысловой смертности выражен значительно более четко, чем в модели, включающей каннибализм.

ОБСУЖДЕНИЕ

Учет постоянных параметров является существенным недостатком ориентира F_{msu} . Оценки промысловой смертности при этом подходе существенно занижены. Максимальный улов в данном варианте модели достижим при общей биомассе запаса более 7 млн. т и биомассе нерестового запаса около 4,5 млн. т, что существенно выше не только наблюдаемых значений этих величин, но и, очевидно, выше допустимых реальных значений для неэксплуатируемой популяции трески. Оценка данного ориентира, не учитывающая изменчивость таких параметров популяции, как темп роста, скорость полового созревания и

уровень естественной смертности, неизбежную при существенных изменениях промысловой смертности и плотности популяции, не может дать реалистичную оценку максимального улова и соответствующей ему промысловой смертности. Для получения более адекватной оценки максимального долгосрочного улова трески (максимального устойчивого улова) и соответствующего уровня промысловой смертности необходимо учитывать взаимосвязь биологических параметров популяции трески и численности ее запаса.

В модели, учитывающей влияние плотности популяции, получаются более реалистичные оценки. Однако, как показали расчеты, величина улова и соответствующей промысловой смертности прямо зависят от уровня каннибализма трески. Известно, что если биомасса запаса мойвы высока, то даже существенное повышение численности трески не приводит к возрастанию каннибализма (Bogstad et al., 1994; Долгов, 1999). Так, например, в 1991-1992 гг., когда биомасса мойвы превышала 5 млн. т, несмотря на то, что численность трески была на высоком уровне, уровень смертности ее молоди по причине каннибализма был очень низок (Анон., 2004). Учитывая это обстоятельство, вариант расчетов с постоянными значениями естественной смертности трески (т.е. без учета каннибализма) можно считать оценкой, соответствующей хорошему состоянию кормовой базы трески, когда биомасса мойвы существенно превышает биомассу трески, а вариант с включением каннибализма в модель дает представление об оптимальном улове трески при низкой численности мойвы.

Максимум кривой зависимости среднего улова от промысловой смертности в варианте модели, учитывающей все процессы, слабо выражен, в связи с чем целесообразно выбрать меньшее значение уровня промысловой смертности, что будет соответствовать более эффективной, с экономической точки зрения, эксплуатации запаса и поддержанию нерестового запаса на более безопасном уровне. Так, при промысловой смертности 0,34 улов снизится на 15 тыс. т, а биомасса нерестового запаса вырастет на 150 тыс. т. С практической точки зрения оба варианта расчетов позволяют рекомендовать в качестве оптимального уровня эксплуатации промысловую смертность в диапазоне 0,3-0,4, что соответствует ежегодному изъятию 25-33% популяции. При данном режиме эксплуатации может быть получен близкий к максимальному среднемноголетний улов. Величина этого улова будет существенным образом зависеть от состояния запаса мойвы. Однако, как показывают расчеты, не следует менять уровень промыслового изъятия, увеличивая его при плохом состоянии запаса мойвы, для снижения уровня каннибализма в популяции трески. По расчетам модели, эффект данной меры ничтожен, а снижение биомассы нерестового запаса, неизбежное вследствие повышения промысловой смертности будет иметь долговременные негативные последствия, отражающиеся в снижении среднего улова, получаемого от популяции.

Следует отметить, что модель дает неадекватные результаты в области высоких значений промысловой смертности (близких к 1 и выше). Значения пополнения в модели при этом существенно выше наблюдаемых. Соответственно, в этой области завышены величина общего, нерестового запасов и улова. Данные уровни промысловой нагрузки близки к критическим для популяции трески, приводящим ее к коллапсу.

Фактический промысел и максимальный устойчивый улов

Сравнение современного промысла и состояния запаса трески с моделируемыми параметрами, предполагающими максимизацию улова, приведено в таблице 3.

Таблица 3. Значения параметров популяции и промысла трески, наблюдаемые при фактическом промысле и прогнозируемые по модели при промысловой смертности $F=F_{msy}$.
Table 3. Estimates of parameters of the cod population and fishery observed during its actual fishery and projected using the model at fishing mortality $F=F_{msy}$.

Параметр	факт		расчет по модели при $F=F_{msy}$	
	1946-2003 гг.	1984-2003 гг.	с учетом каннибализма	при отсутствии каннибализма
F (средний или моделируемый)	0,65	0,74	0,49	0,34
средний улов, тыс. т	662	496	660	889
min улов, тыс. т	212	212	614	847
max улов, тыс. т	1343	771	711	933
средняя TSB , тыс. т	2026	1418	2146	3550
средняя SSB , тыс. т	380	418	497	651
min SSB , тыс. т	102	118	432	578
% лет $SSB < B_{pa}$	72	55	30	0
пополнение, млн. экз.	608	557	692	756
ср. масса рыбы в уловах, кг	2,3	2,4	2,6	2,8

В соответствии с расчетами, при регулировании промысла на основе выбранного целевого ориентира доля рыб старших возрастов в уловах ожидается выше наблюдаемой. Средняя масса трески в улове может возрасти на 10-20%.

Данные таблицы 3 показывают, что промысел в исследуемый период в целом был более интенсивным, чем следовало для достижения максимальной эффективности эксплуатации запаса (максимального улова). При этом средний улов за весь период наблюдения был незначительно ниже максимально возможного (по расчетам модели, предполагающей низкий уровень/отсутствие каннибализма) или несколько большим (по сравнению с модельным расчетом,

предполагающим депрессию запаса мойвы и высокий уровень смертности молоди трески). Эксплуатация запаса была связана с высоким риском его подрыва. В отдельные годы биомасса нерестового запаса трески была на очень низком уровне и количество лет, когда она была меньше биологически безопасного уровня (B_{pa}), было весьма значительным. Повышение же уровня эксплуатации запаса, произошедшее в период 1984-2003 гг., привело к существенному снижению эффективности эксплуатации, снижению численности пополнения и среднегодового улова. Наблюдаемая динамика вылова также была далека от оптимальной. В связи с периодическими падениями запасов трески, вызванными интенсивной эксплуатацией, приходилось снижать промысловые усилия и вылов падал до очень низких значений. По оценкам модели, эксплуатация, направленная на достижение максимального устойчивого улова, повышает эффективность использования ресурсов и существенно снижает риск подрыва запаса. Кроме того, снижение промысловой смертности и рост запаса, приводит к повышению производительности промысла (рост улова на усилие), сокращению количества промысловых усилий, а следовательно, снижению затрат на промысел и повышению экономической эффективности реализации квот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены различные подходы к оценке максимально возможного, получаемого неограниченно долгое время улова трески Баренцева моря и соответствующей ему интенсивности промысловой эксплуатации. Выполненная оценка значений ориентира F_{msy} и анализ его свойств, показала, что игнорирование зависимости продуктивности запаса от плотности популяции является грубым допущением. Для более корректной оценки целевых ориентиров сформулирована модель динамики популяции трески и ее промысла, в рамках которой определены уровни максимального устойчивого улова и соответствующей ему промысловой смертности.

Проведенный анализ показывает, что промысел баренцевоморской трески в период 1946-2003 гг. в целом был более интенсивным, чем необходимо для достижения максимальной эффективности эксплуатации запаса с экономической и биологической точек зрения. Эксплуатация запаса была связана с высоким риском его подрыва. По оценкам модели, стратегия промысла, направленная на достижение максимального устойчивого улова, повышает эффективность использования ресурсов и существенно снижает риск подрыва запаса.

Вместе с тем, анализ результатов модельных расчетов свидетельствует, что полученные оценки максимального вылова и соответствующей ему промысловой смертности недостаточно надежны, а ожидаемый эффект оценен на основе расчетов модели в области экстраполяции найденных зависимостей. Установлено, что на результаты оценок существенное влияние оказывает уровень естественной смертности молоди трески от каннибализма, который зависит от

состояния запаса мойвы. Данные обстоятельства требуют осторожности при выработке рекомендаций по использованию найденных значений ориентиров в качестве целевых.

Переход от современной практики регулирования промысла к стратегии, направленной на максимизацию среднего улова, будет связан с существенным снижением промысловой смертности по сравнению с наблюдаемой за последние десятилетия и может привести к уменьшению вылова в краткосрочной перспективе. При переходе к эксплуатации запаса на основе целевых ориентиров, максимизирующих улов, фактическое развитие ситуации может не соответствовать ожидаемому. По нашему мнению, переход к новой стратегии эксплуатации, предполагающей существенное снижение промысловой смертности, должен проходить поэтапно, чтобы минимизировать экономические и социальные потери в краткосрочной перспективе. Плавное снижение F должно сопровождаться наблюдением за ответной реакцией популяции и уточнением оценок целевых ориентиров на основании вновь полученных данных.

В настоящий момент сложилась удачная ситуация, когда запас трески находится на хорошем уровне, а относительно низкая промысловая смертность обеспечивает приемлемый размер вылова. В соответствии с выполненным анализом, эксплуатация запаса трески на уровне, рекомендуемом ИКЕС и принятом на 32, 33 и 34-й сессиях СРНК, в долгосрочной перспективе обеспечивает улов, близкий к максимально возможному. Целесообразно придерживаться выбранной стратегии эксплуатации запаса, используя согласованное СРНК правило регулирования вылова. На основе мониторинга за состоянием биологических параметров популяции трески необходимо проводить уточнение модели для более полного и корректного учета межвидового взаимодействия (прежде всего треска-мойва) и учета климатических факторов. Следует продолжить работу по более точной оценке целевых ориентиров трески.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Долгов А.В. Влияние хищничества на динамику пополнения трески Баренцева моря // Биология и регулирование промысла донных рыб Баренцева моря и Северной Атлантики. Сб. науч. тр. ПИНРО. Мурманск: ПИНРО, 1999. 163 с.

Ковалев Ю.А., Коржев В.А. Модель регулирования промысла лофотено-баренцевоморской трески // Вопросы рыболовства. 2002. Т. 3. №2(10).

Ковалев Ю.А., Ярагина Н.А. Влияние плотности популяции северо-восточной арктической трески на ее биологические параметры // Тез. докл. отчет. сесс. ПИНРО и СевПИНРО по итогам науч.-исслед. работ в 2001-2002 гг. Мурманск: ПИНРО, 2003. С. 25-26.

«Основные принципы и критерии долгосрочного, устойчивого управления живыми морскими ресурсами в Баренцевом и Норвежском морях» // Приложение 11 к протоколу 31-й сессии Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству. 2002.

Третьяк В.Л. Методические рекомендации по регулированию одновидового промысла (на примере аркто-норвежской трески). Мурманск: ПИНРО, 1987. 37 с.

Anon. Report of the Comprehensive Fishery Evaluation Working Group. ICES CM 1997/Assess: 15. 1997. 140 p.

Anon. Report of the Arctic Fisheries Working Group. ICES CM 2004/ACFM:28. 2004. 475 p.

Bogstad B., Lilly G.R., Mehl S., Palsson O.K., Stefansson G. Cannibalism and year-class strength in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in Arcto-boreal ecosystem (Barents Sea, Iceland, and eastern Newfoundland) // ICES mar. Sci. Symp. 1994. 198 : 576-599.

Darby C.D., Flatman S. Virtual Population Analysis. Version 3.1. (WINDOWS/DOS) User Guide (Text modified 29/4/98 for version 3.2- VPA95). 1994. 85 p.

EVALUATION OF MAXIMUM SUSTAINABLE YIELD FOR NORTHEAST ARCTIC COD USING SINGLE SPECIES POPULATION MODEL

© 2006 y. Yu.A. Kovalev

Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Murmansk

A model of cod population and fisheries in the Barents Sea was developed to estimate maximum sustainable yield and its respective fishing mortality (F). In the full configuration of the model with regard to all processes as functions of the cod population density, the yield was estimated at 660 000 tonnes and F was found to be equal to 0,49. These parameters are greatly affected by natural mortality of juvenile cod due to cannibalism. Without taking cannibalism into account, the above estimates were 890 000 tonnes and 0,34, respectively. It was inferred that significant factors caused by both intra-species and inter-species links between cod and its food items must be built into the model. Exploitation of the cod stock at the level agreed by 32, 33 and 33rd session of JRNC, in the long-term perspective provides a catch close to the maximum available yield. It is expedient to use the harvest control rule agreed by JRNC.