

МНОГОВИДОВОЙ ПРОМЫСЕЛ

УДК 597.562-153(268.45)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ТРЕСКИ И МОЙВЫ В
ЭКОСИСТЕМЕ БАРЕНЦЕВА МОРЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

© 2012 г. А.А. Филин

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного
хозяйства и океанографии, Мурманск 183038*

Поступила в редакцию 30.03.2011 г.

Окончательный вариант 14.09.2011 г.

Дана характеристика модели СТОКОБАР, описывающей динамику запаса трески в Баренцевом море с учетом межгодовой изменчивости состояния кормовой базы, температуры воды и промысла. Рассмотрена зависимость моделируемой смертности молоди трески вследствие каннибализма от величины запаса мойвы. Используя метод сценарного моделирования, выполнен анализ изменения уровня каннибализма у трески при разной межгодовой изменчивости общего допустимого улова.

Ключевые слова: мойва, треска, Баренцево море, регулирование промысла, СТОКОБАР, многовидовые модели, каннибализм, экосистемный подход.

ВВЕДЕНИЕ

Треска и мойва относятся к ключевым видам в экосистеме Баренцева моря. Треска является одним из основных хищников в регионе, а мойва играет важную роль в качестве потребителя зоопланктона и объекта питания хищных рыб, морских млекопитающих и птиц. Кроме того, оба вида служат объектом широкомасштабного промысла. Динамика запасов этих видов в Баренцевом море взаимозависима. Смертность вследствие хищничества трески служит важным фактором, регулирующим численность мойвы. С другой стороны, состояние запаса мойвы, определяющее пищевую обеспеченность трески, влияет на темпы роста, полового созревания и каннибализма у трески, что отражается на динамике ее запаса (Треска Баренцева моря., 2003). Поэтому модельное воспроизведение межвидовых взаимоотношений трески и мойвы в Баренцевом море представляет значительный интерес в отношении тестирования различных стратегий управления промыслом этих видов.

Исследования по оптимизации промысла трески и мойвы в Баренцевом море, с учетом межвидовых отношений, проводятся в ПИНРО в рамках совместной исследовательской программы с Бергенским институтом морских исследований (Норвегия). Такая программа была разработана по поручению Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству. Конечной целью ее служит определение максимального устойчивого вылова в экосистеме Баренцева моря и соответствующей этому стратегии промысла (Филин, 2006). В рамках этой программы в ПИНРО была разработана модель СТОКОБАР (STOCK of COd in the BARents Sea), описывающая динамику запаса трески в Баренцевом море с учетом межгодовой изменчивости состояния кормовой базы, температуры воды и промысла (Filin, 2005).

Целью настоящей работы послужил модельный анализ эффективности управления эксплуатацией запаса трески в Баренцевом море с учетом внутривидового механизма регулирования численности ее популяции. Это представляет интерес в отношении обоснования экосистемных принципов управления промыслом применительно к треске. Адаптационный механизм саморегулирования численности у трески имеет несколько составляющих, из которых в модели были рассмотрены каннибализм и темп полового созревания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

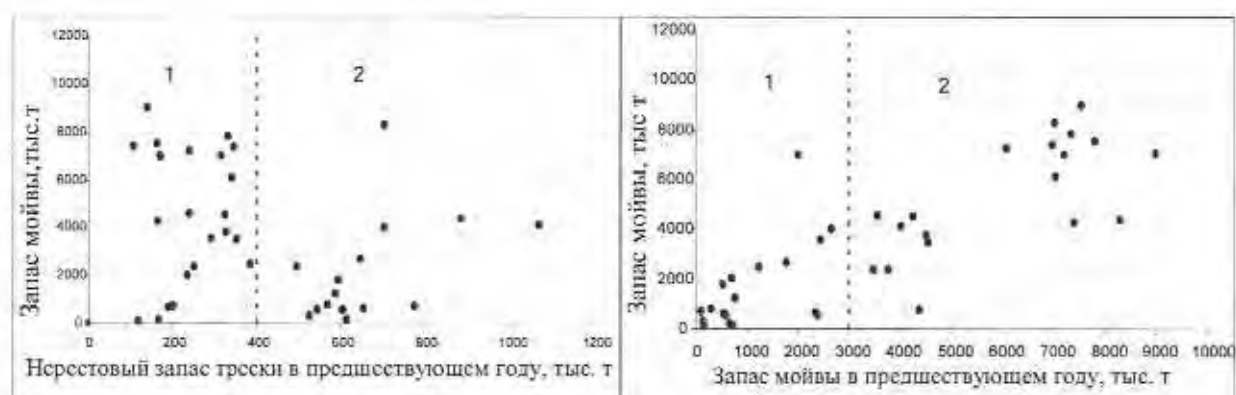
В работе использован метод сценарного моделирования. В качестве аналитического инструмента применяли модель СТОКОБАР. В основу сценариев межгодовой динамики запаса мойвы были положены статистические зависимости, выявленные в ходе ретроспективного анализа. Как свидетельствуют наблюдаемые данные, вероятность снижения запаса мойвы существенно возрастает, если в предшествующем году нерестовый запас трески превышал 400 тыс. т или запас мойвы был ниже 3 млн. т. В соответствии с этим, использовали схему построения сценариев динамики запаса мойвы, представленную на рисунке 1.

Сценарии межгодовой изменчивости температуры воды воспроизводили цикличность изменения температурных условий в Баренцевом море. Процедура формирования температурного сценария включала поочередную выборку значений случайным образом из трех массивов ретроспективных данных, соответствовавших холодному, умеренному и теплему периодам. Использовали данные 1951-2009 гг. К теплему периоду относили годы, когда среднегодовая температура воды на разрезе Кольский меридиан превышала $4,2^{\circ}\text{C}$, к холодному периоду – соответственно годы со среднегодовой температурой ниже $3,6^{\circ}\text{C}$, а умеренный период включал промежуточные значения среднегодовой температуры. Продолжительность таких периодов при формировании температурного сценария менялась случайным образом в пределах 1-5 лет.

Управленческий сценарий имитировал стратегию промысла трески на основе концепции предосторожного подхода (Бабаян, 2000). Как и в существующих правилах управления, коэффициент промысловой смертности трески F_{bar} (среднеарифметическое значение коэффициента промысловой смертности рыб в возрасте 5-10 лет) устанавливали в модели с использованием биологических ориентиров B_{pa} и F_{pa} , руководствуясь следующей схемой. Если моделируемая биомасса перестового запаса трески на начало года равна или превышает B_{pa} , то $F_{bar} = F_{pa}$; если нерестовый запас меньше B_{pa} , то F_{bar} снижается от F_{pa} до 0, пропорционально изменению биомассы перестового запаса по отношению к B_{pa} .

Значения B_{pa} было принято равным 460 тыс. т, что соответствует существующим правилам управления эксплуатацией запаса трески. Величину F_{pa} установили в модели равной 0,60, что выше значения 0,40, используемого на практике. Обусловлено это тем, что при $F_{pa} = 0,60$ моделируемая среднесноголетняя величина F_{bar} в большей степени соответствует фактическому значению (среднее значение $F_{bar} = 0,63$ для 1946-2009 гг.), чем при $F_{pa} = 0,40$. Объяснением здесь служит то, что в модели не учитываются неопределенности, связанные с расчетом и освоением общего допустимого улова (ОДУ) трески, а также отклонения фактической схемы управления от теоретической модели эксплуатации запаса на основе предосторожного подхода.

Ретроспективные данные 1972-2010, используемые для случайного отбора значений



Если моделируемый нерестовый запас трески в предшествующем году меньше 400 тыс. т, используется массив данных 1, если больше, то массив 2

Если моделируемый запас мойвы в предшествующем году меньше 3 млн. т, используется массив данных 1, если больше, то массив 2

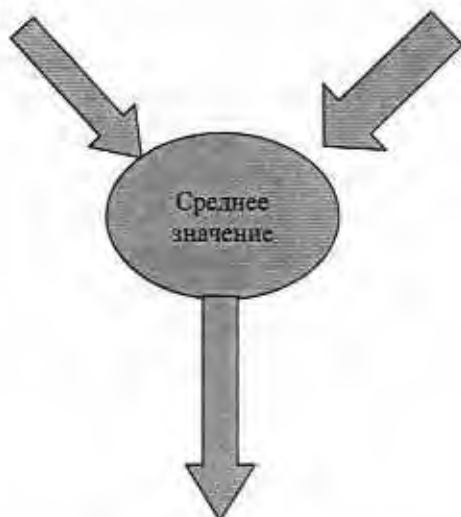


Рис. 1. Схематическое представление формирования сценариев межгодовой динамики запаса мойвы, использованных в прогонках модели.

Fig. 1. Schematic presentation of the capelin stock projections.

В отличие от существующих правил управления, в модели не вводили никаких ограничений на межгодовую динамику вылова трески.

При сценарном моделировании численность трески в возрасте 1 год рассчитывали на основе уравнения Риккера (Риккер, 1979), используя стохастический подход. Значения массы тела трески в этом возрасте задавали методом случайной выборки из массива ретроспективных данных.

С целью повышения статистической достоверности, для модельного анализа использовали объединенные данные 5 однотипных прогонок модели. Моделируемый период каждой прогонки модели составлял 200 лет. Для устранения влияния значений стартового года на модельные расчеты, из анализа исключали результаты, полученные для 20 первых лет в моделируемом временном ряду.

Описание модели СТОКОБАР

Общая схема функциональных связей, реализуемых в модели, представлена на рисунке 2. Все расчеты для трески совершаются по возрастным группам (1-15 лет). Временной шаг модели (дискретность расчетов) равен 1 году. Модель является пространственно неструктурированной, т.е. без детализации воспроизводимых процессов по отдельным районам.

Кормовая база трески в модели была представлена 3 компонентами: мойва, собственная молодь и прочая пища.

При моделировании питания трески концептуальной основой служат представления об уровне питания (Andersen, Ursin, 1977) и максимальном рационе (Ивлев, 1955):

$$R_{jy} = f_{jy} H_{jy} \quad (1)$$

где R_{jy} – годовой рацион трески в возрасте j , кг; H_{jy} – максимальный годовой рацион трески возраста j , кг; f_{jy} – уровень питания трески в возрасте j ; y – индекс года.

Уровень питания трески в возрасте 1-2 года и старше 7 лет в модели не зависит напрямую от запаса мойвы и определяется только численностью особей указанных возрастных групп (плотностной зависимостью). Для трески в возрасте 3-7 лет уровень питания определяется биомассой запаса мойвы, численностью и возрастным составом популяции трески.

Максимальный годовой рацион трески в модели зависит от массы ее тела на начало года и температурных условий в Баренцевом море. Для оценки максимальных рационов за основу взято уравнение, полученное М. Джоблингом на основе экспериментальных данных (Jobling, 1988).

В процессе настройки модели коэффициенты этого уравнения корректируются в соответствии с данными полевых наблюдений:

$$H_{jy} = k_1 e^{k_2 \bar{T}_y - 0,000112 T_y^3} W_{jy}^{k_3} \quad (2)$$

где H_{jy} – максимальный годовой рацион трески возраста j для года y , кг;
 \bar{T}_y – среднегодовая температура воды на разрезе «Кольский меридиан» для года y ;

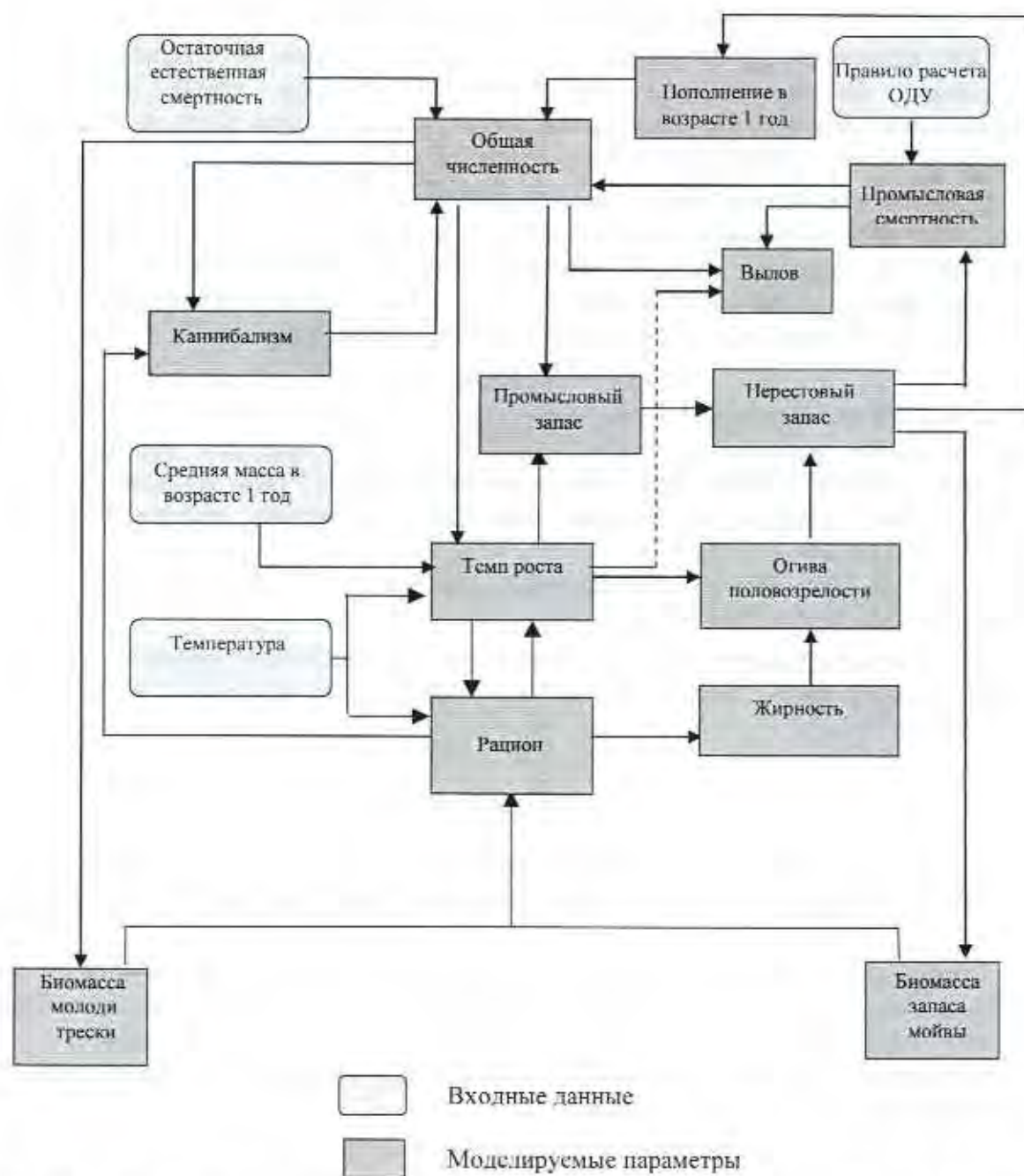


Рис. 2. Схема функциональных связей в популяции трески, воспроизводимых в модели СТОКОБАР.

Fig. 2. Schematic sketch of functional links used for the cod stock simulations in the STOCOBAR model.

W_{jy} – масса тела трески возраста j на начало года y , кг; k_1 – k_3 – коэффициенты, устанавливаемые в процессе настройки модели по наблюдаемым данным.

Для расчета доли в рационе трески различных категорий жертв (мойва и собственная молодь по возрастным группам) используется следующее уравнение:

$$S_{ijy} = (1 - S_{0jy}) \frac{B_{iy} G_{ij}}{\sum_{i=1}^n B_{iy} G_{ij}} \quad (3)$$

где S_{ijy} – доля жертвы i в рационе трески возраста j для года y ; S_{0jy} – доля прочей пищи в рационе трески возраста j для года y ; B_{iy} – биомасса жертвы i в море для года y ; G_{ij} – коэффициент пищевой пригодности жертвы i для трески в возрасте j ; n – количество категорий жертв трески (без прочей пищи), принятое в модели.

Подбор значений коэффициентов G_{ij} основывается на представлении, что соотношение по биомассе различных категорий жертв в рационе хищника отражает соотношение их в природе:

$$\frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}} = \frac{B_i G_{ij}}{\sum_{i=1}^n B_i G_{ij}} \quad (4)$$

где b_{ij} – масса жертвы категории i в желудке трески в возрасте j ;

B_i – суммарная биомасса в природе жертвы категории i на начало года;

n – количество категорий жертв (по виду и возрасту), включенных в модель.

Доля прочей пищи в рационе трески воспроизводится в модели на основе следующего равенства:

$$S_{0jy} = S_{min0j} + (1 - S_{min0j}) \frac{\varphi_{j, longtermmean}}{\varphi_{j, longtermmean} + \rho_j \varphi_{jy}} \quad (5)$$

где S_{min0j} – константа, означающая минимальную долю прочей пищи в рационе трески возраста j , ее значение устанавливается на основе наблюдаемых данных по составу содержимого желудков трески; φ_{jy} – индекс пищевой обеспеченности трески в возрасте j в моделируемом году y ; $\varphi_{j, longtermmean}$ – среднее значение индекса пищевой обеспеченности трески для трески в возрасте j рассчитываемое на основе ретроспективных данных по биомассе включенных в модель кормовых объектов трески; ρ_j – параметр модели, специфичный по возрасту трески (j), значение которого устанавливается в процессе параметризации модели.

В соответствии с формулой (5), если значение $\rho_j \varphi_{jy}$ велико по сравнению с $\varphi_{j, longtermmean}$, то доля прочей пищи в рационе трески будет приближаться к минимальному значению – S_{min0j} , если наоборот, то к максимальному – 1.

Для оценки индекса пищевой обеспеченности трески используется следующее уравнение:

$$\varphi_{jy} = \sum_{i=1}^n B_{iy} G_{ij} \quad (6)$$

где B_{iy} – биомасса (или индекс биомассы) жертвы категории i на начало года y ;

n – количество категорий жертв (по виду и возрасту), включенных в модель.

Рост трески рассматривается в модели как функция массы и длины тела, температуры воды и величины рациона. Темп полового созревания трески рассматривается как функция линейного роста и жирности.

Для расчета годового весового прироста трески в модели используется уравнение Джоунса (Jones, 1978), преобразованное с учетом временного шага модели и дополнительной настройки коэффициентов по данным полевых наблюдений:

$$\Delta W_{jy} = \frac{R_{kcal,j,y}}{k_4 W_{jy}^{0,15}} - 2,54 \times 10^{-3} W_{jy}^{k_5} e^{(0,081 T_y + 0,76 V_j)} \quad (7)$$

где ΔW_{jy} – годовой прирост массы тела трески в возрасте j для года y , кг; W_{jy} – масса трески в возрасте j на начало года y , кг; R_{kcal} – годовой рацион трески в возрасте j для года y , выраженный в калориях; T_y – среднегодовая температура воды на разрезе Кольский меридиан; V_j – скорость плавания трески в возрасте j ; k_4 – k_5 – коэффициенты, устанавливаемые в процессе настройки модели.

Скорость плавания трески V для уравнения (7) рассчитывали на основе длины ее тела, используя следующее равенство (BORMICON, 1997):

$$V_{jy} = 0,28 L_{jy} \quad (8)$$

где V_{jy} – скорость плавания трески в возрасте j для года y , см/сек;

L_{jy} – длина трески в возрасте j на начало года y , см.

Годовой прирост длины тела трески рассчитывается в модели на основе уравнения, аналогичного уравнению, используемому при оценке весового прироста (7):

$$\Delta L_{jy} = k_6 \left(\frac{R_{kcal,j,y}}{k_1 W_{jy}^{k_7}} - k_5 W_{jy}^{k_8} e^{(0,081 T_y + 0,76 V_j)} \right)^{0,33} \quad (9)$$

где ΔL_{jy} – годовой прирост длины тела трески в возрасте j для года y , см;

k_6 – k_8 – коэффициенты, устанавливаемые в процессе параметризации модели.

Для моделирования доли половозрелых особей по возрастным группам используется следующее уравнение:

$$P_{maturejy} = \frac{1}{1 + e^{a_j L_{jy} + c_j HSI_{jy} + b_j}} \quad (10)$$

где $P_{maturejy}$ – доля половозрелых рыб в возрасте j на начало года y ; L_{jy} – моделируемая длина тела в возрасте j на начало года y , см; HSI_{jy} – жирность трески в возрасте j на начало года y ; a_j , b_j , c_j – коэффициенты, специфичные по возрасту трески.

Жирность трески в модели рассматривается как функция отношения моделируемого рациона к моделируемому годовому приросту тела. Межгодовая динамика численности и вылова трески воспроизводятся в модели на основе использования уравнений традиционного метода ВПА (Бивертон, Холт, 1969).

Для параметризации модели используются повозрастные данные трески по численности, вылову, массе и длине тела, жирности, огиве половозрелости, коэффициентам промысловой смертности, составу содержимого желудков, а также данные по биомассе запаса мойвы на начало года и температуре воды. Источником входных данных при настройке модели служат: материалы рабочей группы ИКЕС по арктическому рыболовству, российско-норвежская база данных по питанию трески в Баренцевом море, результаты траловых и акустических съемок в Баренцевом море, статистика промысла, база данных ПИНРО температуре воды на разрезе «Кольский меридиан».

Настройка модели заключается в получении максимального соответствия между наблюдаемыми данными и их модельными аналогами. Достигается это путем подбора соответствующих значений параметров для уравнений, используемых в расчетах. При поиске решения применяется метод наименьших квадратов, заключающийся в минимизации суммы квадратов отклонений между моделируемыми и наблюдаемыми данными. Параметрическая идентификация модели производится на основе алгоритмов, реализованных в программных средствах Excel (опция поиска оптимального решения).

При оценке параметров модели используется метод многопараметрической оптимизации. Объектом минимизации служит обобщенная целевая функция:

$$F_{об} = \sum_{k=1}^s a_k \frac{F_k}{F_k^{норм}} \rightarrow \min \quad (11)$$

где F_k – k -ая целевая функция; $F_k^{норм}$ – нормирующее значение k -ой целевой функции; s – количество составляющих целевых функций;

a_k – коэффициент веса k -ой целевой функции.

Значения $F_k^{норм}$ оцениваются при минимизации k -ой составляющей целевой функции:

$$F_k^{норм} = F_k^{\min} \quad (12)$$

Процедура параметризации модели включает 3 этапа. На первом этапе оцениваются коэффициенты уравнений, используемых в модели для определения рационов, весовых и линейных приростов, среднегодовой массы в уловах, жирности и огины половозрелости трески. Состав рационов на первом этапе настройки модели не рассчитывается, а принимается в соответствии с фактическими данными по составу содержимого желудков. На основе наблюдаемых данных по составу содержимого желудков и рассчитанных рационов, оценивается суммарное годовое потребление треской мойвы и собственной молоди.

На втором этапе определяются коэффициенты G_{ij} , используемые для моделирования состава рационов трески на основе входных данных по содержимому желудков и состоянию кормовой базы (уравнение 3). При этом вводится допущение, что коэффициенты пищевой пригодности для трески различных категорий жертв не зависят от межгодовых особенностей пространственного распределения трески и кормовых объектов. На третьем этапе настройки модели происходит переоценка значений параметров, полученных на первом этапе. В отличие от первого этапа параметризации модели, в расчетах используются не наблюдаемые, а моделируемые значения состава пищи трески.

При изменении значений рационов меняется моделируемое количество молоди, погибшей вследствие каннибализма. Замена старых значений численности трески в возрасте 1-3 года на новые значения осуществляется в процессе настройки модели путем итерационной процедуры. Процесс итерации заканчивается, когда расхождения между значениями численности молоди, рассчитанными на двух смежных итерационных шагах, становятся меньше принятого критерия. Для избежания возникновения циклических связей, в вычислительной процедуре введена дискретность при замене данных по численности молоди трески.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 представлены результаты модельного анализа изменения уровня каннибализма у трески в зависимости от величины запаса мойвы. В качестве индекса смертности вследствие каннибализма использовано отношение моделируемой численности молоди, потребленной треской в течение года, к ее—моделируемой численности на начало года. Как видно из рисунка, с увеличением запаса мойвы относительная численность молоди, потребленной треской, снижается. Об этом свидетельствуют в равной степени данные, как сценарного моделирования, так и ретроспективных модельных оценок. Однако при низком запасе мойвы связь между величиной индекса смертности молоди трески вследствие каннибализма и биомассой запаса мойвы ослабевает, и даже нарушается. По данным модельного анализа, увеличение запаса мойвы имеет большие последствия для динамики популяции трески, чем снижение. Такой моделируемый ответ популяции трески на снижение запаса мойвы выглядит достаточно реалистичным в свете наблюдаемых данных по изменению популяционных параметров трески в период трех последних коллапсов запаса мойвы в Баренцевом море (Gjøsæter et al., 2009).

Внутривидовой механизм регулирования численности ориентирован на поддержку динамического равновесия между максимальным для данной экосистемы размером популяции и меняющимися условиями среды. Существующий на сегодняшний день одновидовой подход к регулированию интенсивности промысла трески, принимающий во внимание лишь изменение величины биомассы ее нерестового запаса, не учитывает данное обстоятельство. Воспроизведение в модели такой схемы управления позволяет выявить существенные расхождения в отношении влияния регулируемого промысла и природного механизма саморегулирования численности на величину запаса трески.

Результаты расчетов, представленные на рисунке 4, свидетельствуют, что снижение, по сравнению с предшествовавшим годом, ОДУ трески в объеме до 30%, происходило в модели на фоне сопутствующего роста уровня каннибализма. С другой стороны, резкое увеличение ОДУ по сравнению с предшествовавшим годом (более чем на 40%) сопровождалось снижением интенсивности потребления треской собственной молоди.

Разнонаправленное воздействие на численность трески управленческих мер и популяционного механизма саморегулирования не может способствовать достижению максимального устойчивого вылова. Попытки стабилизировать или увеличить запас трески посредством снижения интенсивности промысла нецелесообразны в условиях роста каннибализма, поскольку в этом случае запас не соответствует состоянию кормовой базы. С другой стороны, чрезмерное усиление пресса промысла в условиях, когда природный механизм саморегулирования

численности не ограничивает рост запаса, также нецелесообразно с позиций максимизации долгосрочного вылова. В этом случае искусственное сдерживание темпа роста популяции трески не позволит ей использовать в полной мере возможности кормовой базы, что отрицательно отразится на потенциальной промысловой продуктивности запаса. Не трудно заметить, что, как в первом, так и во втором случаях принципы предосторожности при управлении промыслом трески, реализованные в модели, вступают в противоречие с экосистемными принципами.

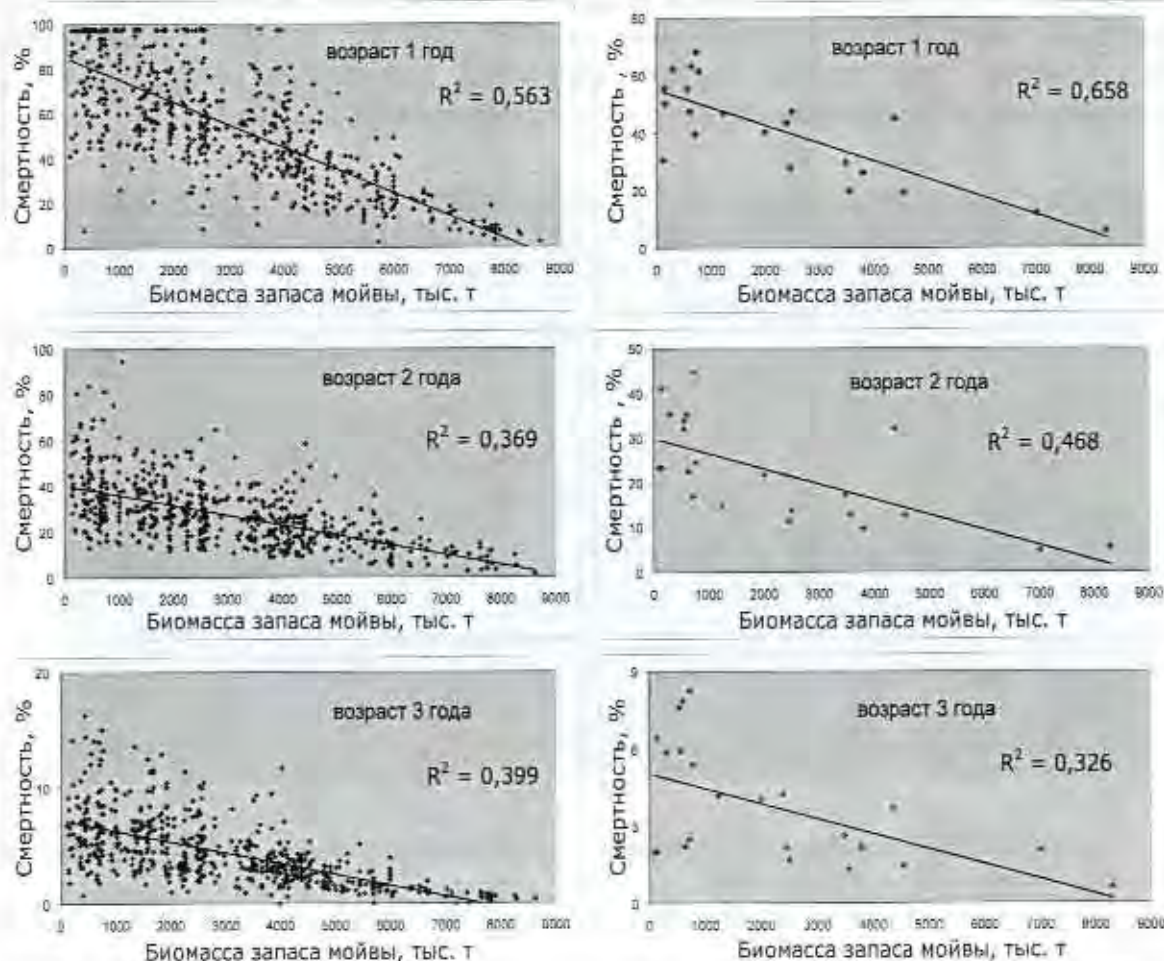


Рис. 3. Зависимость изменения моделируемой смертности молоди трески вследствие каннибализма от величины запаса мойвы (левый ряд – по результатам сценарного моделирования, правый ряд – по ретроспективным модельным оценкам для 1984-2006 гг.).

Fig. 3. Relationship between young cod mortality caused by cannibalism and capelin stock biomass. Left panels are the results from scenario simulations, the right panels are the model output based on the historical data for 1984-2009.

Компромиссным решением такого противоречия может служить введение ограничений на величину межгодовых изменений ОДУ. Благодаря этому, в период быстрого роста запаса, обусловленного природными факторами, относительное воздействие промысла на величину популяции трески снизится, что позволит ей полнее использовать благоприятные экосистемные условия. В период природной тенденции запаса к снижению, интенсивность промысла будет выше, чем это следует из принципов предосторожности. В допустимых пределах это позволит

увеличить вылов, не нарушая природной динамики запаса в соответствии с меняющимися условиями среды.

С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод, что ограничение межгодовых изменений ОДУ, используемое в существующих правилах управления эксплуатацией запаса северо-восточной арктической трески, целесообразно не только из экономических соображений, но и с экосистемной точки зрения (Шибанов и др., 2006). Однако проведенный модельный анализ не дает ответа относительно оптимальной величины допустимого диапазона межгодовых изменений ОДУ для достижения максимального устойчивого вылова трески в экосистеме Баренцева моря. Решение этой задачи станет предметом дальнейших исследований с использованием усовершенствованного варианта модели СТОКОБАР.

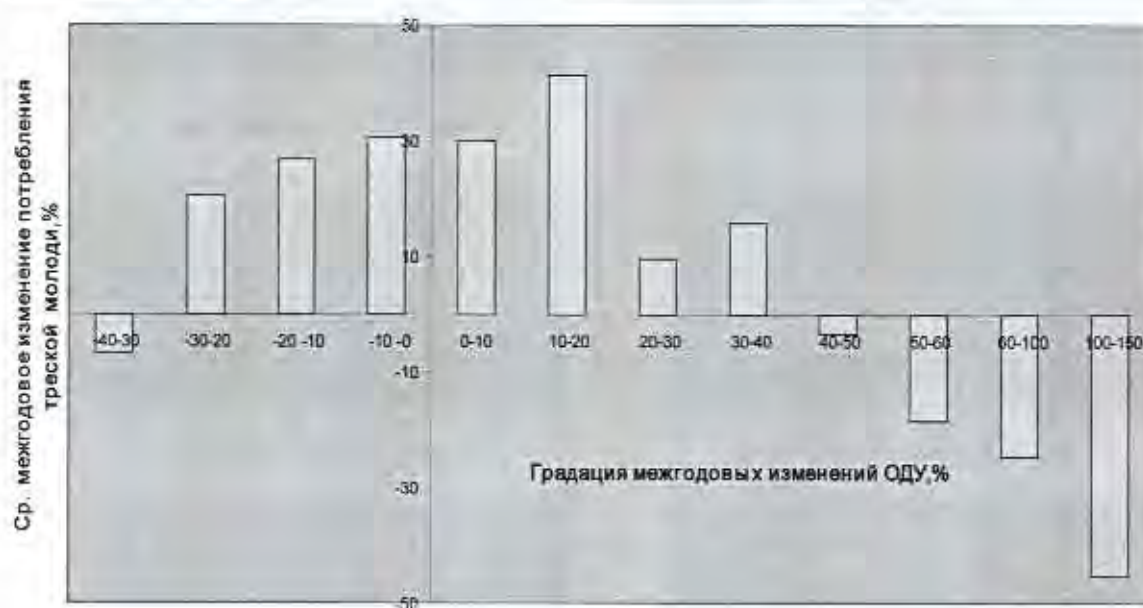


Рис. 4. Соответствие межгодовых изменений уровня каннибализма и ОДУ трески по результатам сценарного моделирования.

Fig. 4. Correspondence of year-to-year changes in rate of cod cannibalism to TAC of cod according to the simulations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.

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

Ивлев В.С. 1955. Экспериментальная экология рыб. М.: Пищепромиздат. 252 с.

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

Треска Баренцева моря: биология и промысел / В.Д. Бойцов, Н.И. Лебедь, В.П. Пономаренко, И.Я. Пономаренко, В.В. Терещенко, В.Л. Третьяк, М.С. Шевелев, Н.А. Ярагина. Изд. 2-е. Мурманск: Изд-во ПИИРО, 2003. 296с.

Филин А.А. Российско-порвежская программа исследований по оценке максимального долгосрочного вылова в экосистеме Баренцева моря// Рыбное хозяйство. 2006. №1. С. 40-41.

Шибанов В.Н., Древетняк К.В., Ковалев Ю.А. Стратегия долгосрочной, устойчивой эксплуатации живых ресурсов Баренцева моря // Рыбное хозяйство. – 2006. №1. С. 38-39.

Andersen K., Ursin E.A multispecies extension to the Beverton and Holt theory of fishing, with accounts of phosphorus circulation and primary production. // Medd. Dan. Fisk. Havunders. 1977. V.7, P.319-435.

Bormicon A Boreal Migration and Consumption model. Editors Gunnar Stefansson and Olafur K. Palsson. Marine Research Institute Report, 1997. 58p.

Filin A.A. STOCOBAR model for simulation of the cod stock dynamics in the Barents Sea considering the influence of ecosystem factors // Ecosystem dynamics and optimal long-term harvest in the Barents Sea fisheries/ Proceeding of the 11 Russian-Norwegian Symposium - PINRO Press, Murmansk, 2005. P. 236-246.

Gjøsæter H., Bogstad B., Tjelmeland S. Ecosystem effects of three capelin stock collapses in the Barents Sea. In Haug, T., Røttingen, L., Gjøsæter, H., and Misund, O. A. (Guest Editors). Fifty Years of Norwegian-Russian Collaboration in Marine Research. Thematic issue No. 2. Marine Biology Research. 2009. V.5. №1. P.40-53.

Jobling M. A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. In Aquaculture, 1988. P. 70-119.

Jones B.W. The potential contribution of cod from Greenland to the fishery at Iceland. Technical report. ICES C.M. 1978/G:17.

SIMULATION OF COD AND CAPELIN INTERACTIONS IN THE BARENTS SEA ECOSYSTEM: THEORETICAL ASPECTS AND PRACTICAL IMPORTANCE

© 2012 y. A.A. Filin

*Polar Research Institute of Marine
Fisheries and Oceanography, Murmansk*

The description of the STOCOBAR model designed for simulation of cod stock dynamics in the Barents Sea taking into account changes in food supply, temperature and fishery is presented. Dependence of cannibalism-induced mortality of young cod on the capelin stock size is shown. Scenario modeling is used to analyze changes in cod cannibalism rate under different year-to-year TAC changes based on harvest control rules.

Key words: capelin, cod, Barents Sea, fishery management, STOCOBAR, multispecies models, cannibalism, ecosystem approach.