

## **Управление рыболовством: иллюзия или реальность?**

*Ю.Н. Ефимов, Д.А. Васильев (ВНИРО)*

## **Management of fisheries: illusion or reality?**

*Yu.N. Efimov, D.A. Vasilyev (VNIRO)*

### **Введение**

Морское рыболовство имеет большое экономическое и социальное значение. Более 30 млн жителей планеты в вопросах занятости и доходов прямо или опосредовано зависят от рыболовства. Согласно данным FAO, в продовольственном плане рыба и рыбопродукты составляют 17 % всего потребления человеком животного белка. В 1996 г. мировое морское промышленное рыболовство достигло своего рекордного показателя в 85,7 млн т. Однако, широко признается тот факт, что многие рыбные запасы подвергаются перелову, и необходимы меры по восстановлению их продуктивности и обеспечению долгосрочной устойчивости и экономической жизнеспособности рыбной отрасли. Хотя в последние десятилетия

в этом направлении предпринимались важные шаги на региональном, национальном и международном уровнях, чтобы обеспечить долгосрочную жизнеспособность всех запасов на благо всего общества, необходимы дополнительные усилия.

Несмотря на «запуск» промысла в Северном и Балтийском морях в период Второй Мировой войны, уже в начале 50-х годов наметилась тенденция снижения промысловых запасов рыб, прежде всего трески. Настала необходимость создания методов количественной оценки величины запаса и возможного вылова, а также методов регулирования промысла. В этот период были созданы первые математические модели Р. Бивертонна и С. Холта, У. Риккера, М. Шефера. Справедливости ради необходимо отметить, что все эти модели были созданы на основе математической модели Ф.И. Баранова 1918 года. В последующие годы на основе этих моделей было создано много различных модификаций, которые с тем или иным успехом использовались при регулировании рыболовства. Настоящий бум в разработке и применении математических методов оценки величины запаса и ОДУ начался в начале 90-х гг. прошлого века. Для их разработки начал применяться более сложный математический аппарат, который позволил создать модели, учитывающие неопределенности в исходных данных и расчетной процедуре, оценку риска снижения запаса ниже критического уровня, оценку различных стратегий управления, разработку правил контроля вылова, включая разработку планов восстановления подорванных запасов и планов управления ими, применение принципа «предосторожного подхода» к эксплуатируемым запасам.

Основная задача разработки математических моделей нового поколения заключается в создании такой системы управления промысловыми запасами, которая позволила бы достичь восстановления подорванных запасов (в тех случаях, где это возможно) и эксплуатировать имеющиеся запасы с минимальным риском возможного уничтожения этих запасов.

Целью данной работы является оценка эффективности применения существующей в настоящее время системы управления на конкретном объекте промысла. В качестве такого объекта была выбрана треска Северного моря. Такой выбор обусловлен тем, что в начале 2000-х гг. величина запаса снизилась до катастрофически низкого уровня, по данному виду имеется наиболее полная биологическая и промысловая информация, к работе по изучению этого запаса привлечены наиболее квалифицированные ученые Европы. В этом случае представляется чрезвычайно интересным оценить, привели ли принятые меры по управлению к положительному эффекту.

Помимо результатов оценок, полученных в рамках Рабочей группы ИКЕС по демерсальным рыбам Северного моря и Скагеррака [ICES, 2009], авторами были проведены контрольные расчеты с использованием модели TISVPA [Vasilyev, 2005].

## Основная часть

Треска Северного моря являвшейся важным объектом международного промысла. В начале 1970-х годов биомасса нерестового запаса превосходила 250,0 тыс. т при биомассе запаса в возрасте 1 год и старше свыше 1 млн т. В эти же годы уловы доходили до 400,0 тыс. т. В дальнейшем, несмотря на несколько исключительно многочисленных поколений, пополнивших запас в 1970–1980 гг., биомасса нерестового запаса достаточно плавно, но неуклонно снижалась, дойдя в итоге до своих минимальных значений к середине 2000 г. При этом общий допустимый улов (ОДУ) в 2007 г. был снижен до своей исторически минимальной величины в 23,0 тыс. т.

Снижение биомассы запаса связывают как с чрезмерно интенсивной эксплуатацией (оценки мгновенного коэффициента промысловой смертности  $F$  для возрастных групп 2–4 с середины 1970-х до середины 2000-х г. колебались около 1, что для таких долгоживущих запасов, как треска, является исключительно высоким значением), так и с изменениями в экосистеме, в связи с потеплением, имевшим место с середины 1980-х гг., что дополнительно понизило вероятность появления многочисленного пополнения.

Тем не менее, последние исследования, в которых были проанализированы последствия широкомасштабных климатических изменений в Северо-Восточной Атлантике показывают, что, не смотря на вероятное дальнейшее потепление морей северо-западного европейского шельфа, восстановление запаса трески Северного моря вполне возможно, однако экологические изменения могут оказать влияние на скорость этого процесса и величину биомассы, которой достигнет запас в результате его восстановления.

В настоящее время регулирование промысла трески Северного моря ведется в соответствии с многолетним планом восстановления запаса. Согласно договоренности, достигнутой между ЕС и Норвегией, после достижения восстановления запаса величина промысловой смертности не должна превосходить 0,4. При этом межгодовые изменения ОДУ не должны превосходить 15 %. Биологические ориентиры управления были оценены в 1999 г. Согласно этой оценке минимально допустимая величина биомассы нерестового запаса ( $B_{lim}$ ), при которой еще возможно назначение ОДУ, составляет 70 тыс. т, а ее целевое согласующееся с предосторожным подходом значение ( $B_{pa}$ ) оценено в 150 тыс. т. Согласно оценкам, полученным Международным советом по исследованию моря (ИКЕС), биомасса нерестового запаса не достигает 70 тыс. т, начиная с 2003 г.

Треска Северного моря потенциально может облавливаются всеми демерсальными орудиями лова, включая тралы, кошельковые сети и ярусами. Большинство этих орудий лова в Северном море облавливает смешенные скопления. В некоторых из промыслов треска является приловом, другие же ориентированы на облов трески. При закрытии целевого промысла официальные выгрузки трески обусловлены исключительно приловами.

В связи с неудовлетворительным состоянием и малыми объемами официальных уловов, в расчетах, проводимых ИКЕС, используются также оценки выбросов, которые в последние годы оказываются близки по величине к объемам официальных уловов.

Для оценки состояния запаса трески Северного моря в ИКЕС традиционно используется несколько методов, основным из которых является так называемый B-ADAPT. Характерной чертой метода является возможность «внутримодельной» коррекции данных по уловам для достижения наилучшей согласованности результата расчетов с результатами съемок. Для настройки этой модели используются данные по уловам на усилие по возрастным группам по результатам международных донных траловых съемок в 1 и 3 кварталах. При этом для данных съемок первого квартала рассматривается диапазон возрастных групп с 1 до 5 лет, а для третьего квартала — 1–4 года. Согласно результатам, полученным ИКЕС с использованием этого метода, биомасса нерестового запаса трески Северного моря в 2009 г. несколько повысилась и достигла 60 тыс. т по сравнению с 42 тыс. т в 2007 г. и 34 тыс. т в 2006 г.

Отметим, что модель B-ADAPT в целом была положительно оценена Рабочей группой ИКЕС по методам оценки запасов 2007 г., однако отмечалось, что такой подход, включающий в себя коррекцию данных по уловам путем минимизации расхождения результата с данными съемок, оправдан тогда, когда доказано, что ошибки в данных уловов являются единственными (или главенствующими) ошибками в имеющихся данных. Хотя расчеты для трески Северного моря по этой модели предваряются подробным анализом данных съемок, результаты которого не выявили явных проблем с данными, однако такой анализ не может гарантировать отсутствие межгодовых изменений в эффективных коэффициентах улавливаемости съемок.

Кроме того, могут быть и другие причины рассогласования с данными съемок, связанные, например, с различиями в распределении разных поколений и в их относительной доступности для промысла и/или донных съемок.

Отметим также, что в результатах съемок 3 квартала имеются также данные для 0-группы, которые в расчетах не используются, однако могли бы быть рассмотрены в качестве индекса биомассы нерестового запаса.

## Результаты

В представленных ниже результатах нами предпринята попытка оценить состояние запаса трески Северного моря с использованием подходов, несколько отличающихся от таковых, заложенных в метод B-ADAPT. Прежде всего, мы предполагаем, что данные по уловам на усилие международных донных съемок в целом не обязательно хорошо коррелируют с абсолютной численностью запаса, т.е. изменения в эффективном коэффициенте улавливаемости съемок могут потенциально оказать влияние на результат анализа. При этом мы делаем допущение, что **пропорции** возрастных групп в результатах съемок могут быть более надежной информацией, чем абсолютные оценки численности. Нами также сделана попытка учесть возможные особенности в селективных свойствах промысла, присущие отдельным поколениям. Кроме того, нами использованы в расчетах данные по уловам на усилие для 0-группы по результатам съемок 3 квартала в качестве относительного индекса биомассы нерестового запаса.

Для расчетов нами использована модель TISVPA, использовавшаяся ранее в рамках ИКЕС для анализа данных при оценке состояния запасов северо-восточной арктической трески, норвежской весенне-нерестующей сельди, путассу и некоторых других видов и рассмотренная на Рабочей группе по методам оценки запасов ИКЕС. Отличительной чертой модели является целенаправленное использование принципов робастной статистики с целью снижения искажающего влияния ошибок в данных на результаты анализа. Кроме того, в модели коэффициенты промысловой смертности (точнее – коэффициенты эксплуатации) представлены в виде произведения трех параметров:  $f(\text{year}) * s(\text{age}) * g(\text{cohort})$ , т.е. дает возможность оценить в рамках когортной модели дополнительный набор параметров, связанных с поколением. Этот дополнительный набор параметров позволяет адаптировать традиционное сепарабельное представление промысловой смертности (как произведение зависящего от года компонента и компонента, зависящего от возрастной группы) к ситуациям, когда некоторые поколения могут иметь особенности в своем взаимодействии с промысловыми флотами, вызванные, например, их различным пространственным распределением, большей притягательностью для промысла более многочисленных поколений или другими причинами. Кроме того, подобный прием позволяет в определенной степени снизить влияние некоторых систематических ошибок в данных.

Упомянутые выше зависящие от поколения множители (g-факторы) могут быть оценены и применены не только для всего интервала возрастных групп, включенных в модель, но и для некоторого выбранного возрастного «окна». Это помогает, во-первых, быть ближе к реальной ситуации (если известно, что только некоторый диапазон возрастных групп может иметь зависящие от численности поколения особенности во взаимодействии с промыслом), и, во-вторых, снизить влияние возрастных групп, данные по возрастному составу уловов для которых имеют более низкое качество (обычно – самые младшие или старшие возрастные группы). Для возрастных групп, не входящих в выбранный диапазон, значения g-факторов принимаются равными единице, но в результате общей нормализации всех g-факторы на единицу в среднем, используемой в модели для балансировки процедуры оценки параметров, могут в результате принимать несколько отличные от единицы значения.

Относительно связанных с поколением особенностей в общей возрастной зависимости селективных свойств промысла в модели предусмотрены два варианта:

1. Подмодель «внутригодового перераспределения промыслового усилия между возрастными группами»;
2. Подмодель «общего роста (снижения) селективности для отдельных возрастов».

В рамках первой подмодели предполагается, что в каждом году поколения, более «притягательные» для промысла, «заимствуют» некоторое количество промыслового усилия у других поколений за счет увеличения их коэффициента селективности и снижения коэффициентов селективности других когорт в данном году. Вторая подмодель предполагает, что некоторые поколения имеют более

высокие (или низкие) коэффициенты селективности, но это не приводит к непосредственным изменениям коэффициентов селективности для других поколений. В наших расчетах использовался вариант 1 – подмодель «внутригодового перераспределения промыслового усилия между возрастными группами».

Отметим, что важной характеристикой модели TISVPA является целенаправленное использование принципов робастной статистики в процедурах оценивания параметров модели. Это помогает снизить влияние ошибок в данных на результаты анализа и выделять больше информации о системе запас–промысел из имеющихся данных. Это робастные целевые функции, возможность целенаправленного обеспечения несмещенности решения, независимость оценок возрастной зависимости относительной селективности промысла от выбора пользователем ее формы, применение различных опций относительно взаимной справедливости предположений о качестве данных по возрастному составу уловов и устойчивости селективных свойств промысла, возможность исключения влияния межгодовых изменений в коэффициентах улавливаемости съемок на результаты анализа и др.

Краткое описание модели представлено в таблице.

Таблица. Структура модели TISVPA

Модель	TISVPA
Версия	2006.1
Тип модели	Сепарабельная модель применена к одному или двум периодам. Сепарабельная модель захватывает весь период анализа. Имеется возможность включить третий, зависящий от поколения, фактор.
Коэффициенты селективности	Коэффициент селективности для старшей возрастной группы приравнен к предыдущему. Коэффициенты селективности по возрастным группам нормированы по сумме на единицу. Для плюс-группы принимается та же промысловая смертность, что и для предыдущей возрастной группы. <b>Если в модель включены факторы поколения</b> , то $s(a,y) = s(a)g(\text{cohort})$ . $s(a,y)$ могут быть нормализованы для каждого года по сумме на 1 – подмодель «внутригодового перераспределения усилия», или нет – подмодель «увеличения (снижения) коэффициента селективности». Матрица g-факторов нормализована на среднее = 1.
Оцениваемые параметры	
Коэффициенты улавливаемости	Могут оцениваться или быть приняты равными единице. Коэффициенты улавливаемости оцениваются аналитически как экспоненты средних логарифмических остатков между оценками численности, полученными из уловов и съемок.
Плюс-группа	Плюс-группа не моделируется, но ее численность рассчитывается из уловов в предположении о равенстве промысловой смертности для плюс-группы и старшей группы.
Съемки биомассы нерестового запаса (SSB)	Могут рассматриваться как абсолютные или относительные индексы. Во втором случае – коэффициент пропорциональности рассчитывается аналитически как экспонента среднего логарифмического остатка между оценками SSB, полученными из данных по возрастному составу уловов и по съемкам.
Съемки в (терминальный+1) год	Могут использоваться.
Целевая функция	Целевой функцией является взвешенная сумма компонентов. Для данных по возрастному составу уловов соответствующими компонентами могут быть: <ul style="list-style-type: none"> <li>• сумма квадратов остатков в логарифмах уловов (SS);</li> <li>• медиана распределения квадратов остатков в логарифмах уловов (MDN);</li> <li>• абсолютное медианное отклонение (AMD).</li> </ul> Для оценок SSB по съемкам – сумма квадратов остатков между логарифмами оценок SSB по съемкам и по модели. Для съемок с возрастной структурой – SS, MDN или AMD для логарифмов $N(a,y)$ или для возрастных пропорций запаса (не взвешенных или взвешенных по численности).

Оценка неопределенности	Для оценки неопределенности применен параметрический условный бутстреп относительно возрастного состава уловов (в предположении, что данные распределены логнормально, дисперсия оценивается в базовом прогоне модели) вместе с зашумлением дополнительной информации (в предположении, что ошибки в данных имеют логнормальное распределение, значение дисперсии задается пользователем).
Другие аспекты	<p>Для данных по возрастному составу уловов могут использоваться три модели ошибки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ошибки отнесены к данным по возрастному составу уловов. Это чисто сепарабельная модель («версия с управляющими уловами»);</li> <li>• ошибки отнесены к сепарабельной модели промысловой смертности. Это соответствует обычной VPA, но сепарабельная модель используется для оценки терминальных значений промысловой смертности («версия с управляющими уловами»);</li> <li>• ошибки отнесены к обоим источникам («смешанная версия»). Для каждой возрастной группы и года промысловая смертность оценивается по когортным уравнениям (в аппроксимации Поупа). Конечная оценка является взвешенным средним между двумя оценками, веса задаются пользователем или обратно пропорциональны квадрату остатка в каждой точке. Относительно ограничений на остатки в возрастном составе уловов возможны четыре варианта:</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Достигаются нулевые суммы остатков по всем годам и возрастам между оценками промысловой смертности из когортных уравнений и по сепарабельной модели («несмещенная сепарабелизация»);</li> <li>2. Как в варианте 1, но относительно логарифмических остатков в возрастном составе уловов (достигается несмещенность оценок численности);</li> <li>3. Как в варианте 1, но отклонения взвешиваются по возрастным оценкам селективности;</li> <li>4. Отсутствие ограничений на смещение.</li> </ol> <p>В версии TISVPA, в варианте 2 нулю также равны покогортные суммы остатков. В вариантах 1, 2, и 3, если для оценки g-факторов использован не весь возрастной диапазон, перечисленные выше условия в смысле несмещенности могут выполняться не точно для <math>s(a,y)</math>, но по-прежнему выполняются для независящих от поколений оценок <math>s(a)</math>.</p>

При определении нами оценке состояния запаса трески использовались те же данные, что и в расчетах, проведенных Рабочей группой ИКЕС по методу B-ADAPT – данные по возрастному составу уловов с включением в них оценок выбросов; среднему весу особей по возрастным группам и годам; долям половозрелых рыб по годам, оценки мгновенного коэффициента естественной смертности. Как и в расчетах по методу B-ADAPT, использовались 2 индекса численности запаса с возрастной структурой: уловы на усилие международных траловых съемок в 1 и 3 кварталах. В дополнение к этим источникам информации были использованы в расчетах данные по уловам на усилие для 0-группы по результатам съемок 3 квартала, в качестве относительного индекса биомассы нерестового запаса. Возрастной диапазон в модели был выбран от 1 до 8+.

В модели TISVPA g-факторы оценивались для диапазона возрастов с 1 по 6, поскольку данные по уловам старшей возрастной группы и +-группы, как правило, наиболее зашумлены, что снижает устойчивость оценок.

Выбранный вариант модели допускает наличие ошибки в сепарабельном описании промысловой смертности (так называемая версия с управляющими уловами) с обеспечением несмещенности описания моделью логарифмов возрастного состава уловов.

В качестве меры близости модельного описания имеющихся данных к самим данным, минимизацией которой оцениваются параметры модели, для возрастного состава уловов и возрастных пропорций в данных съемок выбраны абсолютные медианные отклонения (AMD), считающиеся одной из наиболее робастных мер разброса, не зависящих при этом от гипотезы о виде статистического распределения ошибки в данных; для 0-группы как относительного индекса биомассы запаса надежный минимум был выявлен уже для обычной суммы квадратов логарифмических остатков.

На рис. 1 представлены профили нормированных компонент целевой функции модели в зависимости от оценки биомассы нерестового запаса на начало 2008 г. Как можно видеть, все компоненты имеют достаточно однозначные и близкие по расположению минимумы, показывающие, все использованные виды данных содержат сходную информацию о текущем состоянии запаса.

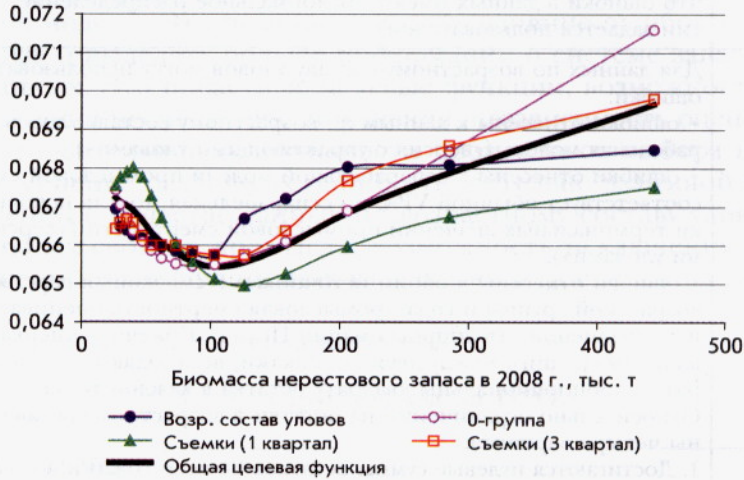


Рис. 1. Профили нормированных компонент целевой функции модели

На рис. 2 представлено сравнение полученных нами результатов с результатами, полученными ИКЕС по модели B-ADAPT. Как можно видеть, общие тенденции изменения биомассы общего и нерестового запасов, а также пополнения и промысловой смертности достаточно близки, однако по нашим оценкам промысловая смертность в последние годы снизилась более заметно, а биомасса нерестового запаса в 2008 г. составила более 100 тыс. т, превзойдя тем самым величину  $V_{lim}$ , для этого запаса равную 70 тыс. т.

На рис. 3 оценки значения факторов поколений  $g$  в сепарабельном представлении промысловой смертности, принятом в модели, представлены для последних десятилетий промысла. Значения параметра  $g$  нормированы на единицу по своей средней величине, поэтому на рисунке для наглядности они представлены

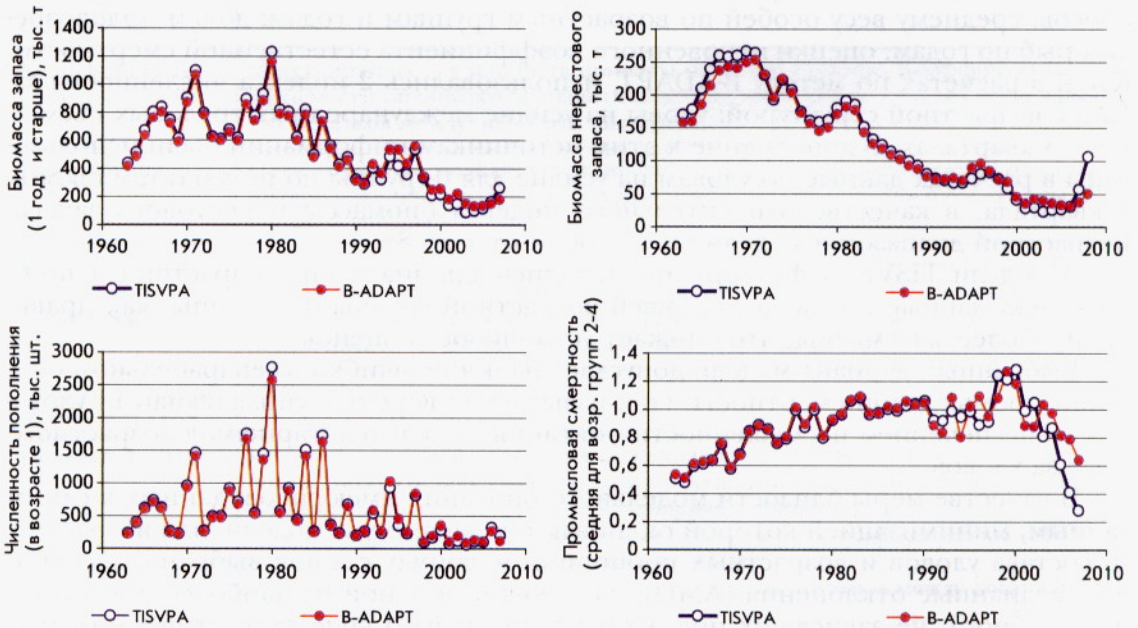


Рис. 2. Треска Северного моря. Результаты модели TISVPA в сравнении с оценками, полученными ИКЕС по модели B-ADAPT

Матрица оценок факторов поколений  $g$  в сепарабельном представлении промысловой смертности (представлены как  $g-1$ )

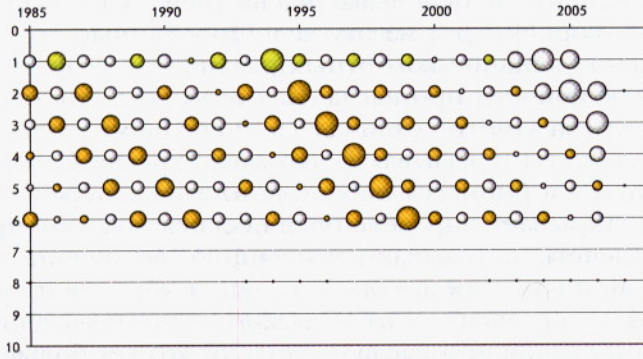


Рис. 3. Оценки значения факторов поколений  $g$  в сепарабельном представлении промысловой смертности (представлены как  $1-g$ )

как  $g-1$ , что показывает их отличия от «среднематричной» величины. Полученные оценки говорят о том, что доступность отдельных поколений для промысла заметно отличалась от среднемноголетней. Это может быть одной из причин отличия полученных нами оценок от результатов модели B-ADAPT.

Как показал ретроспективный анализ, в рамках которого последний расчетный год последовательно сдвигался в сторону более ранних лет, модель дает достаточно разумные оценки сравнительно с общим трендом изменений запаса (рис. 4). На рисунке для большей наглядности разброса ретроспективных оценок графики биомассы общего и нерестового запасов представлены в увеличенном масштабе.

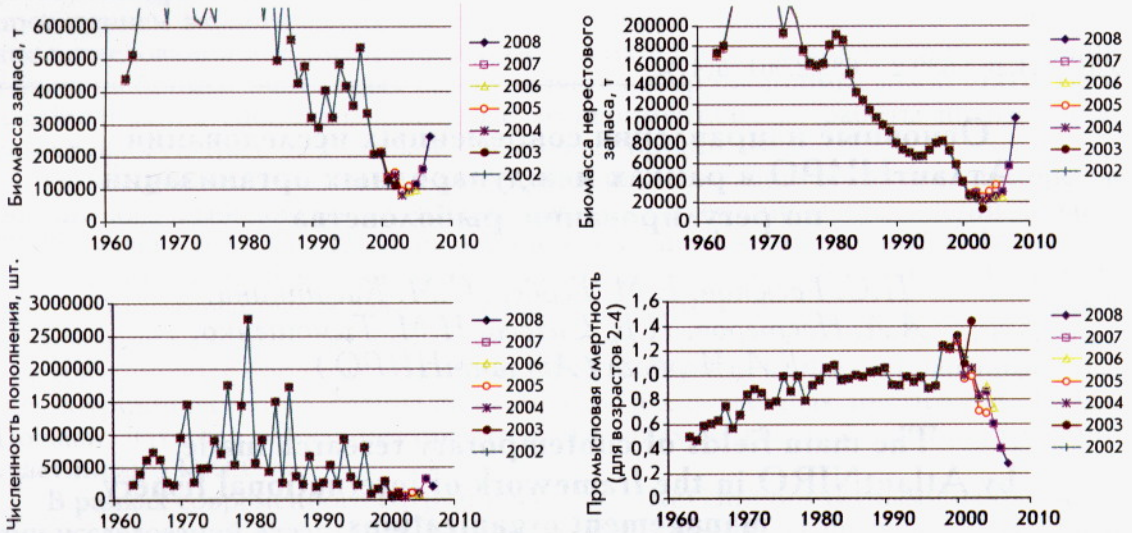


Рис. 4. Результаты ретроспективного анализа

## Заключение

Целью проведенного нами анализа было получить оценку состояния запаса трески Северного моря с использованием несколько отличных допущений по сравнению с таковыми, сделанными в расчетах ИКЕС, а также оценить эффективность применения плана восстановления запаса трески. Наши допущения основаны на том, что в результатах съемок мы исключили фактор года, больше полагались на точность данных по возрастным пропорциям. Кроме того, мы использовали данные по уловам на усилие нулевой возрастной группы из результатов съемок, проводимых в 3-м квартале, в качестве относительного индекса биомас-



сы нерестового запаса. Как показали результаты, эти данные несут информацию о текущем состоянии запаса, сходную с информацией из возрастного состава уловов и съемок. Наконец, мы не основывались на трендах в общей численности по результатам съемок, корректируя на эту величину данные по уловам, а попытались учесть возможное влияние когортных различий в возрастной зависимости относительной селективности промысла. Как оказалось, доступность отдельных поколений для промысла заметно отличалась от среднемноголетней. В целом, полученные нами результаты показывают, что запас трески Северного моря начинает восстанавливаться и биомасса нерестового запаса перешла рубеж  $V_{lim}$ , равный 70 тыс. т, что открывает определенные перспективы для промысла.

Проведенные расчеты показывают тенденцию увеличения запаса трески Северного моря даже при наличии высокого уровня выбросов и приловов при промысле других видов демерсальных рыб. Связано ли это с введением довольно жестких правил регулирования промысла и стоит ли это тех больших затрат на внедрение системы регулирования? Видимо да. И затраты окупаются существенным увеличением вылова. Даже если предположить, что тенденция повышения численности трески обусловлена изменением океанологических условий, вряд ли только это способствовало улучшению состояния запаса. По всей вероятности введение планов управления для рассматриваемого запаса и для других видов рыб Северо-Восточной Атлантики дает положительный результат, а значит принятая система управления рыболовством работает.

#### Литература

- ICES. 2009. Report of the Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak, 6–12 May 2009 (ICES CM 2009/ACOM:10).
- Vasilyev D.A. 2005. Key aspects of robust fish stock assessment.— М.: VNIRO Publishing.— 103 p.