

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 639.2.053.7:639.223

**ОЦЕНКА ЗАПАСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ  
И ПИКШИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ TISVPA**

© 2015 г. Д. А. Васильев, О. А. Булатов

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
Москва, 107140*

*E-mail: dvasilyev@vniro.ru*

Поступила в редакцию 16.10.2015 г.

Модель TISVPA, разработанная во ВНИРО, показала, что значения биомассы трески оказались существенно выше результатов, полученных с помощью модели XSA, традиционно используемой для оценки запаса Рабочей группой ИКЕС по арктическому рыболовству. Тогда как для пикши оценки биомассы запаса по моделям TISVPA и XSA оказались весьма близки друг к другу и заметно ниже оценок, полученных по модели SAM. Выполненные расчеты показали, что современное состояние запасов трески позволяет увеличить общий допустимый улов в 2015 и 2016 гг. на 156 и 178 тыс. т соответственно по сравнению с одобренными рабочей группой ИКЕС по арктическому рыболовству значениями. Результаты сравнительного анализа применения различных моделей свидетельствуют о необходимости совершенствования методологической базы оценки состояния запасов и прогнозирования общего допустимого улова трески.

*Ключевые слова:* оценка запасов, северо-восточная арктическая треска, северо-восточная арктическая пикша, общий допустимый улов.

**ВВЕДЕНИЕ**

Баренцево море характеризуется как один из наиболее продуктивных районов Мирового океана, однако межгодовая изменчивость океанологических процессов оказывает существенное влияние на численность трески и пикши. Северо-восточные арктические треска и пикша являются одними из наиболее важных элементов экосистемы Баренцева моря (The Barents Sea ..., 2011).

Промысловый запас трески существенно изменялся в течение последних 70 лет. Первый максимум биомассы наблюдался в 1946–1962 гг. и составлял 2–4 млн т, в дальнейшем в 1964–1965 гг. отмечалось краткосрочное снижение до 1,4–1,7 млн т, после чего в 1966–1978 гг. наступил следующий максимум, однако он был в два раза меньше предыдущего. В течение следующих 12 лет (1979–1990 гг.) промысловый запас находился на стабильно низком уровне

не — около 1 млн т. Третий максимум был относительно непродолжительным и наблюдался в 1991–1997 гг., в это время промысловая биомасса трески превышала 1,5 млн т (в 1993 г. — 2,4 млн т). Затем в 1999–2000 гг. вновь отмечался низкий уровень запасов — 1 млн т, который был весьма непродолжительным и с 2001 г. сменился устойчивым трендом роста запасов. Следует отметить, что в течение 2000–2013 гг. промысловая биомасса увеличилась в 3,5 раза, а нерестовая — в 9 (!) раз (Report ..., 2014).

Существенная межгодовая изменчивость запасов обнаружена также у пикши. За период с 1950 по 2013 гг. отмечено три максимума, наблюдавшихся каждые 20 лет, при которых промысловая биомасса пикши достигала или превышала 500 тыс. т: 1953–1954, 1972–1974 и 1994–1995 гг. Следует отметить, что

так же, как и у трески, с начала 2000-х гг. промысловая биомасса пикши устойчиво росла и в 2011 г. увеличилась в два раза, достигнув исторического максимума — 1,3 млн т. С другой стороны, исторический минимум наблюдался для промыслового запаса в 1983—1984 гг. и составлял 68—86 тыс. т, а для нерестового запаса несколько позже, в 1984—1986 гг., — около 50 тыс. т (Report ..., 2014). Следовательно, динамика запасов пикши характеризуется более высокой изменчивостью, чем у трески.

На протяжении многих лет основным методом оценки состояния запасов северо-восточных арктических трески и пикши являлась модель XSA (Shepherd, 1991). В целом модель представляет собой специальный метод настройки вычислительной процедуры одновидового анализа виртуальных популяций (VPA) с использованием данных по уловам на единицу промыслового усилия (CPUE). До недавнего времени эта модель давала весьма надежные и исторически устойчивые оценки для этих запасов, особенно для трески.

Однако в последние годы в связи со вступлением в промысел исключительно многочисленных поколений ситуация изменилась. Отработанные ранее варианты применения модели стали приводить к заметной исторической смещенности оценок, что вынуждало специалистов систематически пересматривать применяемые опции модели. Это обстоятельство вызвало повышенный интерес к использованию моделей другого класса для оценки этих запасов, а именно сепарабельных моделей, к числу которых можно отнести модели TISVPA (Васильев, 2006) и SAM (Report ..., 2009).

Цель настоящей работы — выполнение сравнительного анализа оценок состояния запасов трески и пикши с использованием сепарабельной когортной модели TISVPA и основных моделей, принятых сегодня в Международном совете по исследованию моря (ИКЕС), — XSA и SAM.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для оценки состояния запасов северо-восточных арктических трески и пикши в настоящей работе была использована модель TISVPA (Васильев, 2006). Данная модель на протяжении ряда лет используется в рамках ИКЕС, а также применяется и в некоторых других международных организациях (Антарктическая комиссия, Комиссия по оценке запасов минтая в центральной части Берингова моря, Каспийская комиссия) для оценки состояния запасов. Впервые эта модель для оценки запаса северо-восточной арктической трески была представлена на Рабочей группе ИКЕС по арктическому рыболовству (AFWG) в 2008 г.

В отчете Рабочей группы отмечались следующие положительные свойства модели TISVPA:

- возможность четкой формулировки статистического смысла решения,
- возможность не рассматривать имеющиеся данные (включая данные по возрастному составу уловов) как абсолютно точные,
- возможность учесть присущие отдельным поколениям особенности в сепарабельном представлении промысловой смертности,
- возможность независимо проанализировать информацию о состоянии запаса, имеющуюся в каждом из источников информации, а также внимание к робастности анализа позволяют рассматривать эту модель в качестве полезного метода анализа данных при оценке состояния запаса трески (Report ..., 2008).

Кроме того, результаты применения модели TISVPA для оценки состояния запаса северо-восточной арктической трески были представлены в январе 2015 г. также на рабочей группе ИКЕС по арктическим запасам, посвященной вопросам методологии оценки запасов. В данном отчете была подтверждена ценность свойств модели TISVPA и полезность дальнейших расчетов с ее использованием для оценки состояния

запаса северо-восточной арктической трески (Report ..., 2015a).

Модель TISVPA отличается более точным описанием особенностей взаимодействия запаса с промыслом за счет расширенной параметризации мгновенных коэффициентов промысловой смертности, а также повышенной защищенностью оценок от «шума» во входных данных за счет целенаправленного применения принципов робастной статистики в процедурах оценки ее параметров. Модель включает в себя различные приемы, помогающие работать с данными реального (т.е. достаточно низкого) качества, а именно:

- 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 (Vasilyev, 2005).

Отличительной особенностью использованной нами модели является уточненное описание взаимодействия запаса с промыслом, заключающееся в представлении коэффициентов промысловой смертности (точнее — коэффициентов эксплуатации) в виде произведения трех параметров:  $f(\text{year}) \times s(\text{age}) \times g(\text{cohort})$ , что 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 особенно-

сти в своем взаимодействии с промысловыми уловами, вызванными, например, различным пространственным распределением, большей притягательностью для промысла более многочисленных поколений или иными причинами.

Модель TISVPA для оценки состояния запасов северо-восточных арктических трески и пикши применялась также и на AFWG в апреле 2015 г. (Report ..., 2015b). Для расчетов по модели TISVPA использовались данные AFWG, которые применялись также для расчетов по другим моделям (XSA и SAM) с привлечением сведений по возрастному составу уловов с включением оценок неучтенного вылова, по средней массе и долям половозрелых рыб по возрастным группам и годам промысла.

Как и в расчетах, выполняемых AFWG (XSA и SAM), в качестве индексов численности запаса с возрастной структурой TISVPA были использованы следующие данные: для трески — экосистемные съемки («флот 007»), совместные донные траловые съемки («флот 15»), совместные акустические съемки («флот 16») и российские донные траловые съемки («флот 18»);

для пикши — российские донные траловые съемки («флот 01»), совместные гидроакустические съемки в Баренцевом море («флот 02»), совместные донные траловые съемки в Баренцевом море («флот 04»), а также совместные российско-норвежские экосистемные осенние донные траловые съемки в Баренцевом море («флот 007»).

Здесь мы сохранили ту же нумерацию «флотов», что и в материалах AFWG (Report ..., 2015b).

Выполненные нами многовариантные расчеты показали, что наиболее стабильные и непротиворечивые результаты дает использование варианта модели TISVPA, в котором допускается наличие ошибок по возрастному составу уловов и в сепарабельном описании промысловой смертности. Дополнительно обеспечивает-

ся несмещенность описания моделью логарифмов возрастного состава уловов для данных по треске, а для данных по пикши — несмещенность сепарабельного представления коэффициентов промысловой смертности. Под несмещенностью в данном случае следует понимать равенство нулю сумм остатков модели по возрастным группам для различных лет промысла, а также по годам промысла для различных возрастных групп.

В качестве меры близости модельного описания имеющихся данных, минимизацией которой оцениваются параметры модели, для данных по возрастному составу уловов для трески выбрано абсолютное медианное отклонение (AMD) распределения остатков в описании моделью логарифмов этих данных, а для пикши — медиана (MDN) распределения квадратов логарифмических остатков. Обе эти меры близости известны как одни из наиболее робастных мер разброса, не зависящих при этом от гипотезы о виде статистического распределения ошибок в данных.

В качестве меры близости описания моделью данных съемок для трески использовалась сумма квадратов логарифмических остатков, что соответствует гипотезе о логнормальном характере распределения ошибок в этих данных. Данные съемок оценки запаса пикши имели высокую зашумленность. Для получения более отчетливых сигналов о состоянии запаса воспользовались другими мерами близости: для «флотов 01, 02 и 04» использовалась медиана распределения квадратов логарифмических остатков, при этом настройка производилась не на оценки общей численности по возрастным группам, а на возрастные пропорции. Для «флота 007» так же, как и в случае трески, для пикши минимизировалась сумма квадратов логарифмических остатков.

В выполненных расчетах  $g$ -факторы оценивались и применялись для возрастных групп 3–12 и 3–9 для трески и пикши соответственно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ компонент целевой функции модели для трески показал наличие уверенных сигналов о биомассе запаса в терминальный год как от данных по возрастному составу уловов, так и от всех индексов численности запаса. Профили компонент целевой функции модели, соответствующих данным по возрастному составу уловов, а также индексам численности запаса, построенные относительно величины биомассы нерестового запаса (SSB) в 2014 г., представлены на рис. 1.

Сведения по возрастному составу уловов пикши и данные съемок также дали достаточно сходные сигналы о величине SSB в 2014 г., за исключением «флота 04», для которого профиль соответствующей компоненты целевой функции показал наличие еще одного локального минимума при значительно более высоких значениях SSB в 2014 г. (рис. 2).

На рис. 3, 4 представлены результаты ретроспективной диагностики оценок состояния запасов трески и пикши, в рамках которой при неизменных основных опциях модели расчеты проводились при последовательном укорачивании рядов данных на один год. На рисунках представлены результаты оценок биомассы нерестового запаса, пополнения в возрасте 3 года ( $R(3)$ ) и средней промысловой смертности для возрастных групп 5–10 ( $F(5-10)$ ) трески и средней промысловой смертности возрастных групп 4–7 ( $F(4-7)$ ) пикши. Исторический разброс можно считать умеренным, а историческое смещение результатов не является систематическим, хотя разброс в оценках пополнения и промысловой смертности пикши заметно выше, чем у трески.

Оценка неопределенности в результатах проводилась с помощью процедуры параметрического условного бутстрепа применительно к данным по возрастному составу уловов и параметрического безусловного бутстрепа применительно к данным по индексам численности запаса. На рис. 5, 6 представлены оценки био-

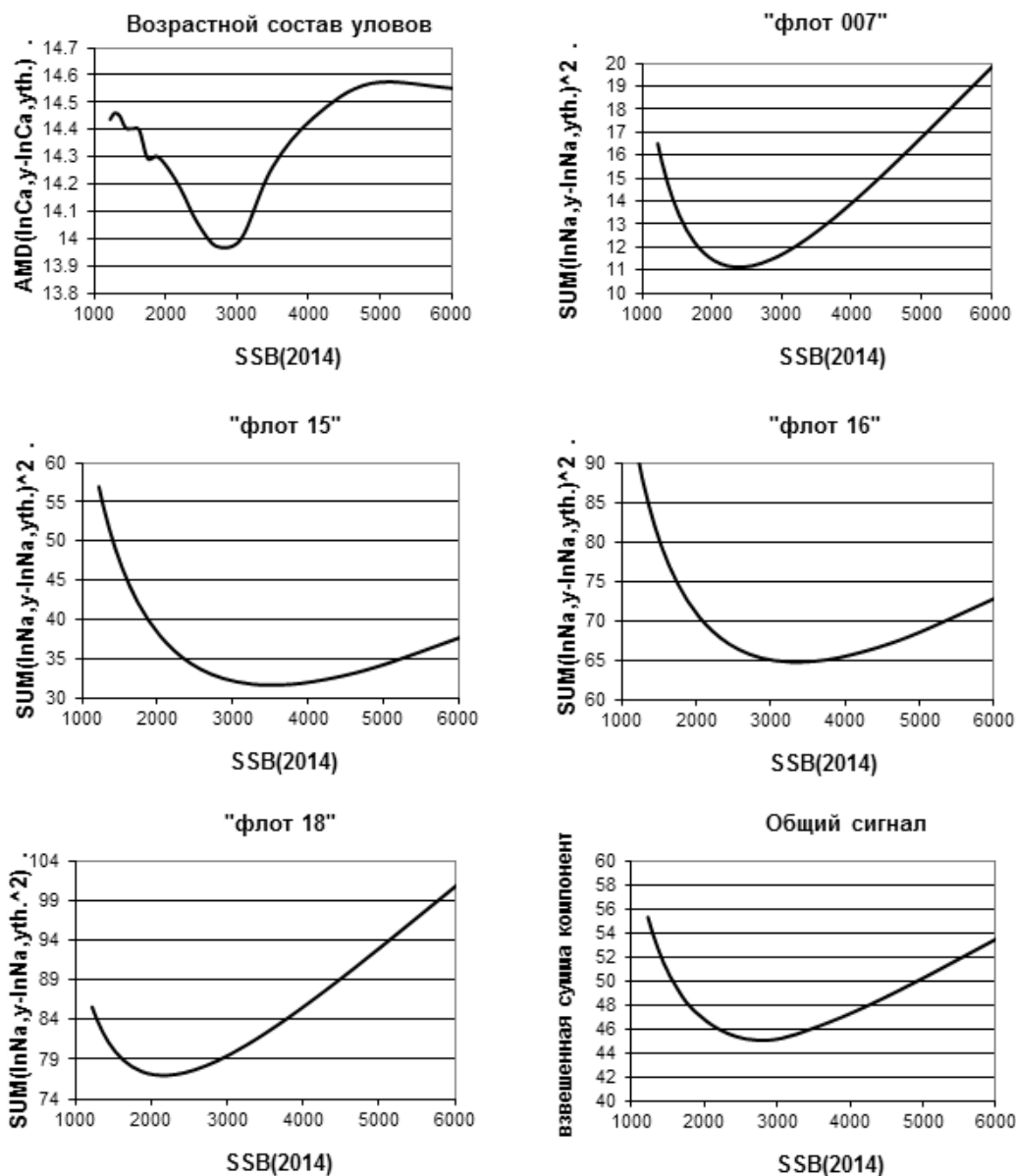


Рис. 1. Профили компонентов целевой функции модели TISVPA для трески.

массы нерестового запаса, полученные в результате применения бутстреп-процедуры, среднемноголетней зависимости относительной селективности промысла от возраста, а также численности запаса в терминальный год по возрастным группам. Доверительные интервалы изображены в виде процентилей: 90%-ный доверительный интервал ограничен кривыми, обозначенными на рис. 5, 6 как 5 и 95%. Бутстреп-медианная оценка соответствует

на рисунках кривой, имеющей обозначение 50%. Как можно видеть из рисунков, неопределенность в оценках для пикши несколько выше, чем для трески.

На рис. 7 и 8 оценки биомассы нерестового запаса трески и пикши, полученные по модели TISVPA, приведены в сравнении с оценками, полученными с помощью других моделей, также использовавшихся для этой цели на AFWG ИКЕС в 2015 г. (Report..., 2015b).



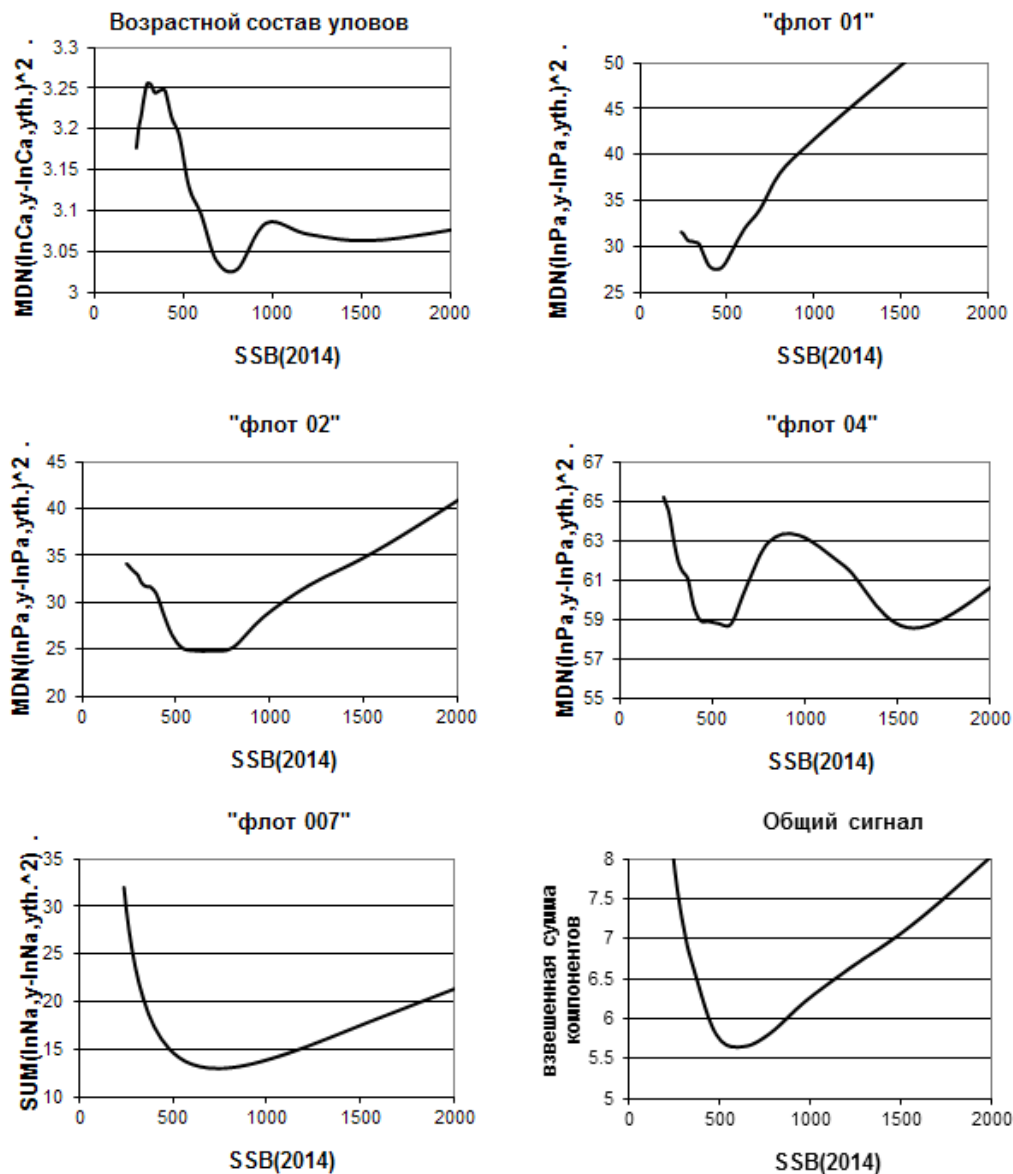


Рис. 2. Профили компонентов целевой функции модели TISVPA для пикши.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как можно видеть, модель TISVPA, разработанная во ВНИРО, показала, что значения биомассы трески оказались заметно выше результатов, полученных с помощью модели XSA, традиционно используемой для оценки запаса в AFWG. Тогда как значения биомассы пикши, рассчитанные по моделям TISVPA и XSA, оказались весьма близки, но заметно ниже оценок, полученных по модели SAM. Необходимо отметить, что

опции модели XSA, примененные AFWG в 2015 г., существенно отличались от использовавшихся ранее.

В своем отчете AFWG отметила, что причины расхождения результатов в настоящее время остаются до конца не выясненными (Report ..., 2015 b). Поэтому для получения окончательной оценки AFWG рекомендовала использовать модель XSA для запаса трески и модель SAM — для запаса пикши. По нашему мнению, такой выбор мо-

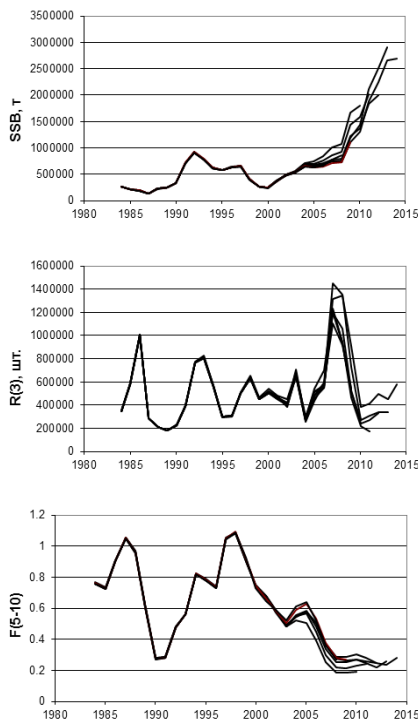


Рис. 3. Результаты ретроспективной диагностики оценок для запаса трески.

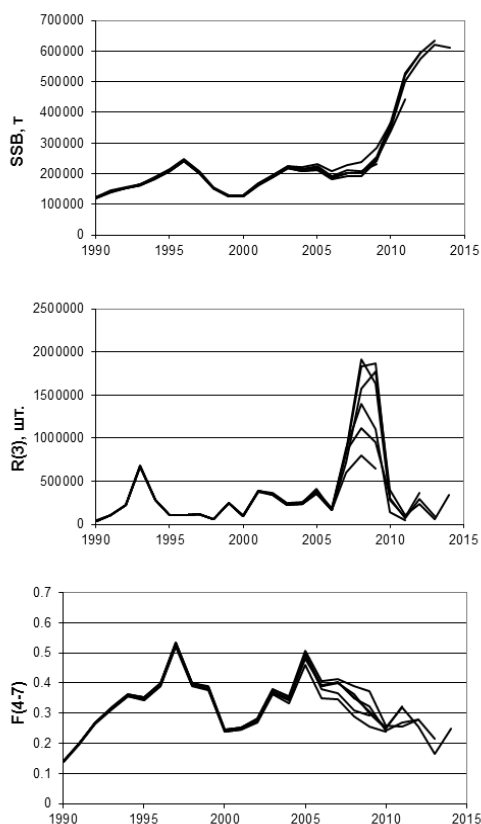


Рис. 4. Результаты ретроспективной диагностики оценок для запаса пикши.

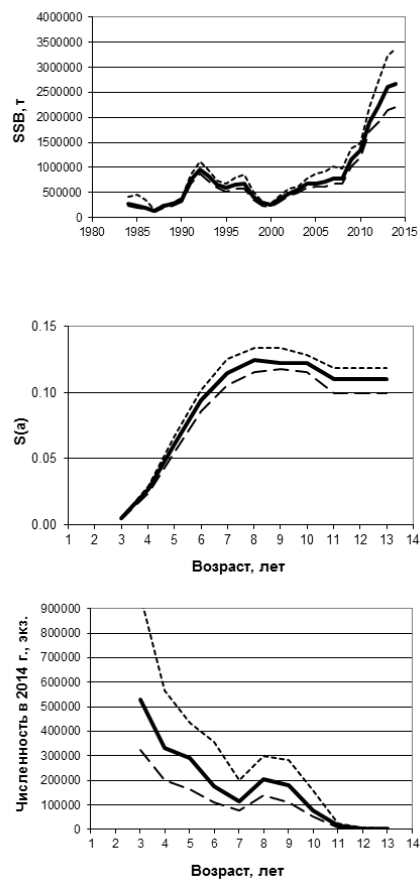
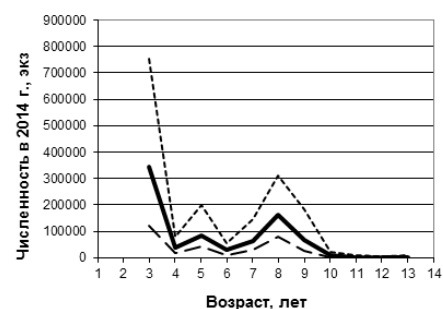
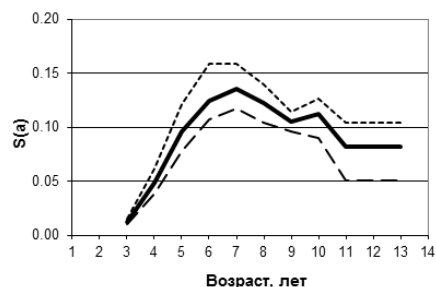
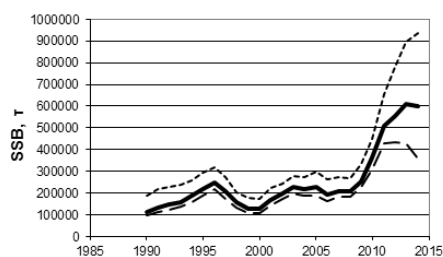


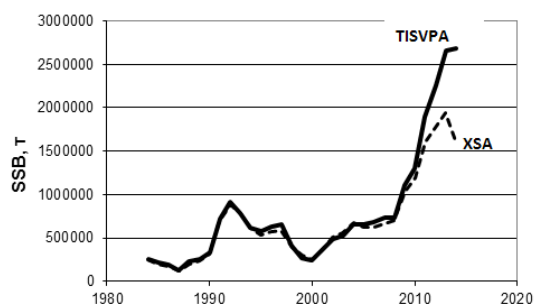
Рис. 5. Бутстреп-оценки биомассы нерестового запаса, относительной селективности промысла и численности запаса в терминальный год северо-восточной арктической трески: (— — —) — 5, (—) — 50, (- - -) — 95%.

жет быть обусловлен маркетинговыми причинами. Если это так, то повышение ОДУ трески не представляется выгодным в связи с риском снижения цены на треску, а повышение ОДУ пикши, наоборот, является «полезным», так как значительный прилов пикши на промысле трески будет ограничивать выбор квоты трески. Следует отметить, что интересы российской стороны, наоборот, связаны с более высоким выловом трески, особенно если учесть ее негативное влияние на численность своей молодежи, а также мойвы и других рыб, которых треска поглощает в значительных количествах.

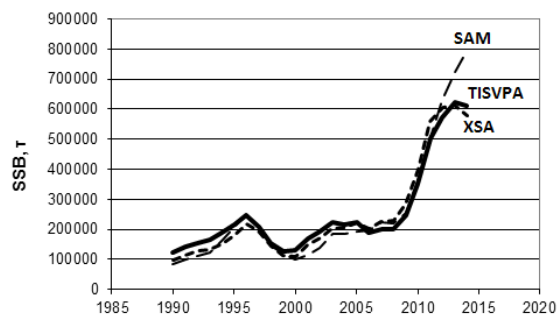
ОДУ трески на 2015–2016 гг., основанные на расчетах по модели TISVPA в соответствии с действующим в настоящее



**Рис. 6.** Бутстреп-оценки биомассы нерестового запаса, относительной селективности промысла и численности запаса в терминальный год северо-восточной арктической пикши. Обозначения см. на рис. 5.



**Рис. 7.** Сравнение оценок биомассы нерестового запаса северо-восточной арктической трески, полученных по моделям TISVPA и XSA.



**Рис. 8.** Сравнение оценок биомассы нерестового запаса северо-восточной арктической пикши, полученных по моделям TISVPA, XSA и SAM.

время правилом регулирования промысла, составили 1050 и 983 тыс. т соответственно, что на 156 и 178 тыс. т больше оценок по модели XSA, одобренных AFWG.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости совершенствования методологической базы оценки состояния запасов и прогнозирования ОДУ трески, что способствовало бы выявлению дополнительной сырьевой базы для отечественных рыбаков на Северном рыбохозяйственном бассейне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Васильев Д. А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Triple-separable virtual population analysis (TISVPA)». 2006. № 2006611764.

Report of the Arctic fisheries working group (AFWG). Copenhagen, 2008. ICES Doc. CM 2008/ACOM:01. 531 p.

Report of the Working group on methods of fish stock assessment (WGMG 2009). Copenhagen, 2009. ICES Doc. CM 2009/RMC:12. 81 p.

Report of the Arctic fisheries working group (AFWG). Copenhagen, 2014. ICES Doc. CM 2014/ACOM:05. 656 p.

Report of the Benchmark workshop on arctic stocks (WKARCT). Copenhagen, 2015a. ICES Doc. CM 2015/ACOM:31. 116 p.



Report of the Arctic fisheries working group (AFWG). Copenhagen, 2015b. ICES Doc. CM 2015/ACOM:05. 623 p.

Shepherd J. G. Extended survivors' analysis: an improved method for analysis of catch-at-age data. ICES Working Group on Methods. 1991. 16 p.

The Barents Sea: Ecosystem, resources, management / Eds. Jakobsen T., Ozhigin V. Trondheim, Norway: Tapir Acad. Press, 2011. 825 p.

Vasilyev D. Key aspects of robust fish stock assessment. M.: VNIRO Publ., 2005. 105 p.

## NORTH-EAST ARCTIC COD AND HADDOCK STOCK ASSESSMENT BY MEANS OF TISVPA MODEL

© 2015 y. D. A. Vasilyev, O. A. Bulatov

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140*

The TISVPA model developed in VNIRO has revealed that the cod biomass is substantially higher than the estimates obtained by the XSA model which was traditionally used for assessment of this stock at the ICES Arctic Fisheries Working Group. Same time, for haddock the stock biomass estimates from the TISVPA and XSA models were rather close to each other and lower than the estimates obtained by the SAM model. The results of the assessment has shown that current state of cod stock allows to rise its TAC in 2015–2016 by 156 000 and 178 tonnes with respect to values adopted by the ICES Arctic Fisheries Working Group. Comparative analysis of the results obtained by the above mentioned models supports the necessity of further improvement of methodology of cod stock assessment and TAC estimation.

*Keywords:* stock assessment, North-East Arctic cod, North-East Arctic haddock, TAC.