

ПРОМЫСЕЛ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 639.2.053.7:639.223

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗЕ ЗАПАСОВ  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ  
ПРОМЫСЛОВО-СТАТИСТИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

© 2018 г. О.А. Булатов, Д.А. Васильев

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии, Москва, 107140  
E-mail: obulatov@vniro.ru*

Поступила в редакцию 21.03.2018 г.

Рабочая группа ИКЕС по арктическому рыболовству для оценки запаса и общего допустимого улова трески традиционно использует математические модели с привлечением научных данных и промысловой статистики. В 2016 и 2017 гг. ряд научных съемок в Баренцевом море не был выполнен или они были выполнены не в полном объеме. Это снизило обоснованность результатов расчетов запасов и вызвало интерес к привлечению в расчетах дополнительных источников информации о состоянии запаса. Таким источником информации послужили данные информационной системы «Рыболовство». Выполненные расчеты показали, что современное состояние запасов трески позволяет увеличить общий допустимый улов в 2018 г. более чем на 20% по сравнению с величиной, одобренной рабочей группой ИКЕС по арктическому рыболовству. Значения климатического индекса АМО (atlantic multidecadal oscillation index), показавшие высокую корреляционную связь с биомассой запаса, были использованы для прогноза нерестового запаса трески до 2025 г. Это привело к существенно иным оценкам перспектив промысла трески, чем применение традиционных методов. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости расширения информационной базы, используемой для оценки состояния запасов трески и ее прогноза, в случае ее недостаточности.

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

**ВВЕДЕНИЕ**

Совершенствование методов оценки состояния запаса северо-восточной арктической трески является важной научной задачей (Васильев, Булатов, 2015). Вопросы уточнения входных данных для расчетов и методики оценки состояния запаса северо-восточной арктической трески в очередной раз рассматривались на заседании специальной методологической рабочей группы ИКЕС (ICES, 2017a) в апреле 2017 г. Результаты сравнения модели TISVPA (Triple Instantaneous Separable Virtual Population Analysis) (Vasilyev, 2005, 2017; Васильев, 2006) с разработанными ранее показали, что эта модель благодаря привлечению данных

по старшим возрастным группам позволяет точнее оценить состояние запасов. Рабочая группа отметила, что, поскольку модель TISVPA ориентирована на робастность, т.е. на работу с сильно зашумленными данными, для трески, отличающейся высоким качеством данных, она может оказаться менее гибкой по сравнению, например, с моделью SAM (State Space Assessment Model). Поэтому было принято решение использовать модель TISVPA в качестве вспомогательной и продолжить в дальнейшем выполнение расчетов с ее помощью. В качестве основной модели для оценки состояния запаса северо-восточной арктической трески была принята модель SAM, в настоящее время использу-

емая в рамках ИКЕС для оценки состояния большинства запасов. Применявшуюся ранее более 20 лет модель XSA (Extended Survival Analysis) также было решено использовать для дополнительных расчетов (ICES, 2017a).

Однако на состоявшемся спустя две недели заседании рабочей группы ИКЕС по арктическому рыболовству, на которой массивы данных были дополнены информацией, полученной во второй половине 2016 и начале 2017 гг., оказалось, что ситуация ухудшилась, так как новые данные имели существенно более низкое качество, чем в предыдущие годы, и это отрицательно сказалось на надежности полученных оценок. Невыполнение съемки донных рыб в 2016 г. не позволило получить адекватные индексы численности донных рыб Баренцева моря. Отсутствие данных о размерно-весовой структуре и доле половозрелых рыб в запасе трески на конец 2016 г. усугубило ситуацию. Кроме того, в 2016 г. экосистемная съемка, также используемая в расчетах по оценке состояния запаса трески Баренцева моря, была проведена с методическими нарушениями. В связи с недостатком финансирования в феврале 2017 г. отмечено неполное покрытие акватории. Все это привело к заниженной оценке запасов. Учитывая недостаточность данных для расчетов оценки состояния запаса и прогноза общего допустимого улова (ОДУ) северо-восточной арктической трески, авторы предприняли попытку компенсировать этот недостаток информацией, содержащейся в информационной системе (ИС) «Рыболовство».

Кроме того, в качестве дополнительного источника информации для оценки запасов и их прогноза были использованы установленные ранее корреляционные связи биомассы с климатическим показателем, в качестве которого был выбран индекс АМО (atlantic multidecadal oscillation index), являющийся интегральным показателем формирования численности поколений и биомассы трески.

Цель настоящей работы — получение оценок состояния запаса трески на основании

данных промысловой статистики и прогноз ее биомассы до 2025 г. с использованием климатических данных.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для оценки состояния запасов северо-восточной арктической трески рабочая группа по арктическому рыболовству ИКЕС в настоящее время использует модели с возрастной структурой: в качестве основной принята модель SAM, в качестве вспомогательной применяется разработанная ранее во ВНИРО модель TISVPA (Vasilyev, 2005; Васильев, 2006), отличающаяся повышенной защищенностью от ошибок в используемых данных. При работе с данными ИС «Рыболовство» в качестве показателя производительности промысла, отражающего плотность биомассы промыслового запаса, были использованы медианные значения величин уловов на час траления (CPUE) за второй и третий кварталы 2003–2017 гг. Медианные оценки были выбраны в связи с тем, что в отличие от средних значений они отражают наиболее типичные величины, свободные от прямого влияния резко выделяющихся данных (аутлаеров).

Индексы биомассы промыслового запаса (ИБПЗ), полученные с помощью данных ИС «Рыболовство», учитывали площади проведения промысловых операций (S), оцениваемые как произведение разностей между процентиями 5 и 95 координат промысловых операций по широте и долготы. Применение процентилей позволило оценить площадь основного «ядра» промысловых операций во вторых и третьих кварталах 2003–2017 гг., что обеспечило также защиту от возможного наличия случайных ошибок в координатах промысловых операций.

Поскольку оценки биомассы по модели с возрастной структурой соответствуют началу года, ИБПЗ были также приведены к началу года путем осреднения оценок, полученных для вторых-третьих кварталов смежных лет.

Оценки ИБПЗ, рассчитанные на основании данных ИС «Рыболовство», сравнивали со значениями биомассы условного промыслового запаса (БУПЗ), полученными по модели с возрастной структурой TISVPA за 2003–2015 гг., которые представляли собой сумму произведений оценок биомассы по каждой возрастной группе и относительной селективности промысла каждой возрастной группы.

При сопоставлении оценок биомассы промыслового запаса, полученных по моделям с возрастной структурой, и ИБПЗ, полученных по данным ИС «Рыболовство», следует учитывать, что ИС «Рыболовство» содержит информацию по промысловым операциям только отечественного флота, тогда как в моделях ИКЕС с возрастной структурой для оценки запасов трески используются как российские, так и норвежские данные. При этом, естественно, оценки относительной селективности промысла, получаемые в рамках моделей с возрастной структурой, отражают характеристики совокупного международного промысла.

Главным отличием селективных свойств российского тралового промысла трески от ярусного норвежского является преобладание в уловах высокой численности младше- и средневозрастных групп. Как показали многовариантные расчеты, наилучшее соответствие достигалось при исключении из рассмотрения возрастных групп старше 11 лет включительно. В этой связи в расчетах БУПЗ по результатам применения модели с возрастной структурой (TISVPA) интервал суммирования был взят от 3 (младшая возрастная группа в расчетах по модели) до 10 лет.

Для получения оценок ИБПЗ использовали следующую формулу:

$$\text{Ln}(\text{ИБПЗ}_y) = a + b\text{Ln}(\text{CPUE}_y) + c\text{Ln}(S_y), \quad (1)$$

где  $y$  — индекс года;  $a, b, c$  — параметры, оцениваемые путем минимизации суммы квадратов отклонений между  $\text{Ln}(\text{ИБПЗ}_y)$  и  $\text{Ln}(\text{БУПЗ}_y)$  по годам промысла.

Оценки значений параметров составили:  $a = 12,43, b = 0,873, c = 0,123$ .

Связь между оценками биомассы нерестового запаса ( $SSB$ ) и значениями индекса АМО аппроксимировали следующим соотношением:

$$\text{Ln}(SSB) = aI + b\text{Ln}(K) + c, \quad (2)$$

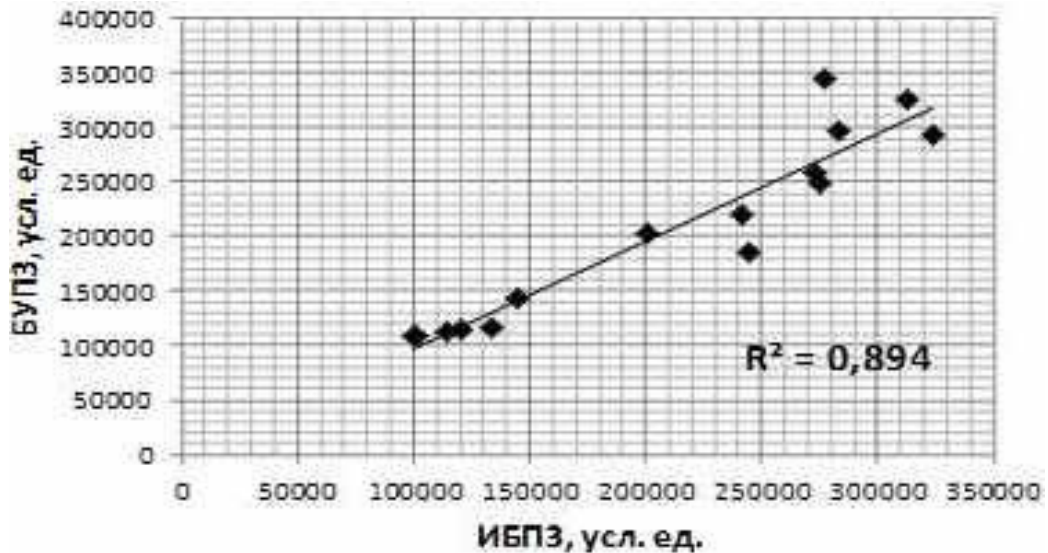
где  $SSB$  — оценка биомассы нерестового запаса, полученная по модели с возрастной структурой;  $I$  — индекс АМО, осредненный за 5 лет по центральным скользящим средним и использующийся со сдвигом в 13 лет относительно года  $SSB$ ;  $K$  — коэффициент эксплуатации (улов/ $SSB$ ), осредненный за 5 лет, предшествующих году оценки  $SSB$ ;  $a, b, c$  — параметры, которые оценены путем минимизации суммы квадратов отклонений между  $\text{Ln}(SSB_y)$ , полученными по модели с возрастной структурой (TISVPA), и значениями  $\text{Ln}(SSB_y)$  рассчитанными по уравнению (2).

Суммирование производилось по годам  $y$ . Оценки параметров составили:  $a = 2,95, b = -0,587, c = 13,63$ .

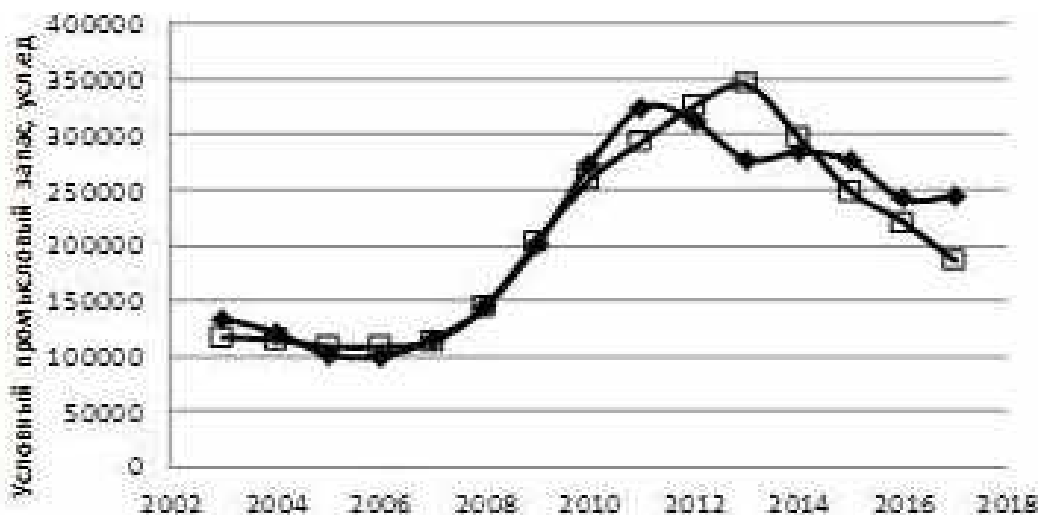
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение ИБПЗ с оценками БУПЗ трески показало, что полученные результаты имеют высокую сходимость (рис. 1).

В дальнейшем было выполнено сравнение оценок БУПЗ трески (по результатам модели TISVPA) с результатами ИБПЗ в 2002–2017 гг., полученными на основании информации из ИС «Рыболовство». Как видно из рис. 2, результаты, полученные с использованием разных подходов в период 2002–2010 гг., полностью совпали. В дальнейшем оценки стали несколько отличаться. Индексы, полученные с использованием в расчетах данных промысловой статистики (ИС «Рыболовство»), показали в 2011, 2015–2017 гг. более высокие значения, чем вычисленные с помощью модели с возрастной структурой. Одной из вероятных причин этого является



**Рис. 1.** Связь между индексами биомассы промыслового запаса (ИБПЗ) по данным ИС «Рыболовство» и оценками биомассы условного промыслового запаса (БУПЗ) по модели с возрастной структурой.



**Рис. 2.** Оценки индекса биомассы промыслового запаса (-♦-) по данным ИС «Рыболовство» и биомассы условного промыслового запаса (-□-) по модели с возрастной структурой.

ся недостаточность научных данных, отмеченная в 2016–2017 гг., видимо, именно это привело к разнице в оценке запасов в 2017 г. более чем в 0,5 млн т.

В 2013 г., наоборот, наблюдавшиеся максимальные различия результатов этих моделей могли быть вызваны более достоверными международными научными сведениями, обеспечившими больший охват сезонов и акватории, где встречалась треска, по сравнению с данными российской промысловой

статистики. В 2012, 2014 гг. различия между двумя подходами были несущественны.

Несмотря на разницу в оценках, тенденция снижения запасов в 2014–2017 гг. проявила себя одинаково в обоих случаях.

При использовании в расчетах биомассы по моделям с возрастной структурой полученные значения ИБПЗ разбивались по возрастным группам пропорционально возрастному составу уловов с учетом среднего веса особей в запасе для каждого года про-



**Рис. 3.** Оценки биомассы трески в возрасте 3 года и старше (по оси ординат, т), полученные по модели TISVPA с дополнительным использованием индекса биомассы запаса, построенного по данным ИС «Рыболовство» (-□-), и без его использования (-◆-).

мысла. Именно таким образом оценивался индекс биомассы запаса в расчетах по модели TISVPA.

Сравнение оценок биомассы промыслового запаса в возрасте 3 года и старше, полученных по модели TISVPA с дополнительным индексом биомассы, которые построены по данным ИС «Рыболовство», с результатами, полученными по той же модели рабочей группой ИКЕС с использованием данных четырех видов съемок, представлено на рис. 3.

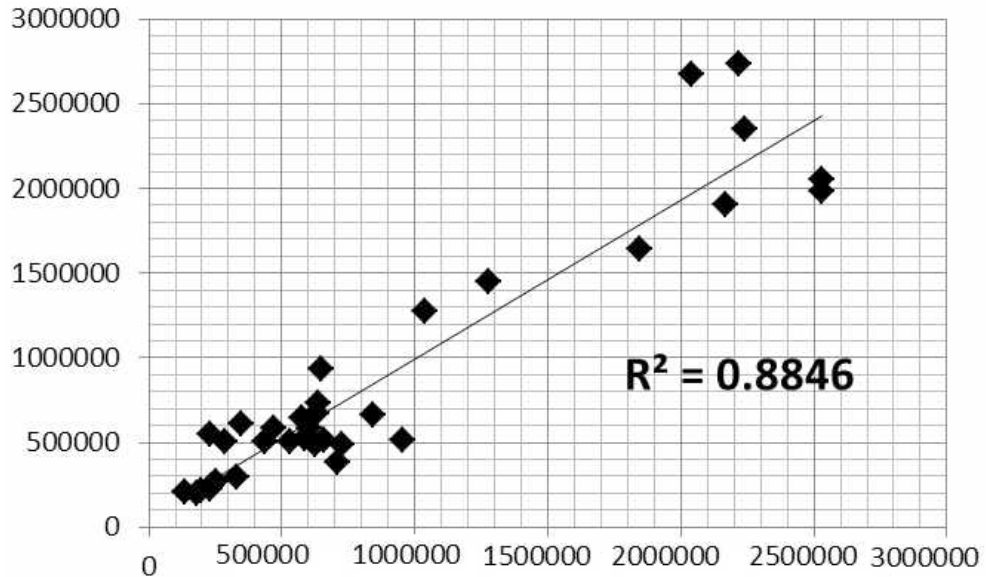
Как можно видеть (рис. 3), оценки биомассы, полученные с дополнительным привлечением индекса, построенного по данным ИС «Рыболовство», для 2016–2017 гг. оказались выше данных, полученных ИКЕС. Оценка ОДУ на 2018 г., вычисленная ИКЕС на основе действующего в настоящее время Правила управления промыслом (ICES, 2017b), составила 855 тыс. т.

Приведенные выше результаты основаны на использовании традиционного для рабочей группы ИКЕС подхода к оценке состояния запаса, но с расширением информационной базы расчетов за счет дополнительных данных, полученных из ИС «Рыболовство».

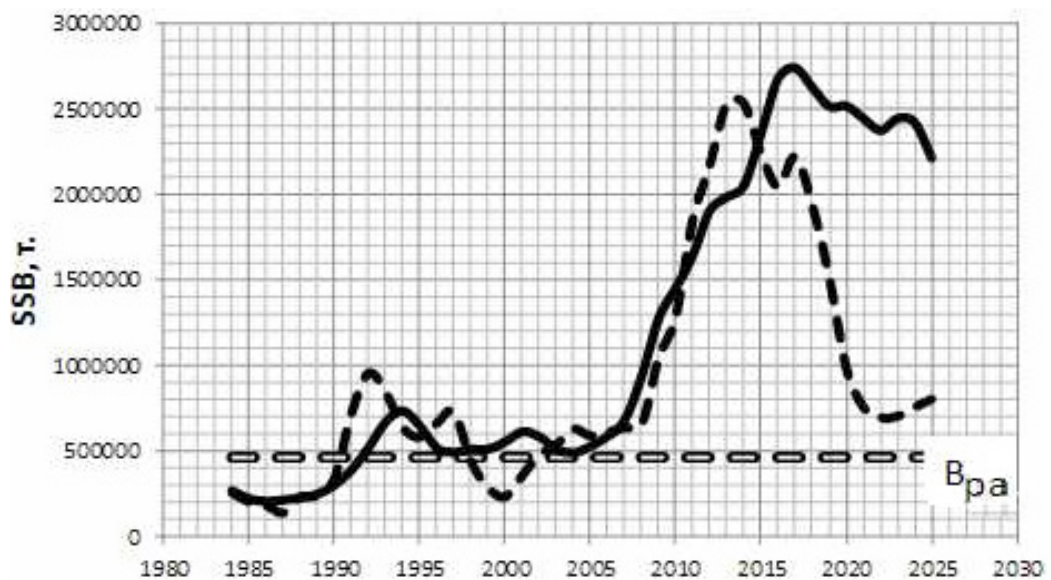
Интересным представляется также нестандартный подход оценки запасов, основанный на использовании выявленных корреляционных связей между биомассой трески и интегральными климатическими показателями. Известно (Bulatov, 2013), что температура воды на Кольском разрезе и индекс АМО являются хорошими индикаторами формирования численности поколений и биомассы.

Сравнение оценок биомассы нерестового запаса трески, полученных по модели с возрастной структурой (при оценке параметров уравнения (2) использовались оценки до 2015 г. включительно), с таковыми, полученными по индексу АМО (при осреднении значений АМО по интервалу в 5 лет с помощью центральных скользящих средних и с использованием лага в 13 лет), показало очень высокий коэффициент корреляции (рис. 4).

Обнаруженная тесная связь между изменчивостью нерестового запаса трески и индексом АМО, взятым с 13-летним лагом, позволяет с заблаговременностью не менее 10 лет уверенно прогнозировать динамику биомассы. На рис. 5 изображены ретроспективные и среднесрочные прогнозные (до 2025 г.) значения оценки биомассы запаса,



**Рис. 4.** Связь между оценками биомассы нерестового запаса, полученными по модели TISVPA (по оси ординат, т), и оценками биомассы нерестового запаса, полученными с использованием индекса АМО (по оси абсцисс, т) в 1984–2015 гг.



**Рис. 5.** Сравнение оценок биомассы нерестового запаса (SSB), полученных по модели с возрастной структурой (---) и по индексу АМО (—).

полученные с использованием индекса АМО, которые сравниваются с оценками, полученными по модели с возрастной структурой.

Воздействие промысла на запас оценивали в соответствии с действующим в настоящее время Правилom управления промыслом (ICES, 2017b). Численность пополнения на 2018–2019 гг., так же, как

и в рабочей группе ИКЕС (ICES, 2017b), оценивали по гибридной модели с учетом съёмки возрастных групп 0, 1, 2 и 3 лет. Кроме того, привлекали данные по биомассе мойвы, ледовому покрытию, температуре и кислороду на Кольском меридиане, а также по температуре на Кольском побережье (ICES, 2017b), а для 2020–2025 гг.

еще и среднее арифметическое ретроспективных оценок пополнения, хотя известно, что связь родители—потомки выражена весьма слабо (Булатов и др., 2007).

В прогнозных оценках, полученных с использованием индекса АМО, предполагалось, что в прогнозные годы сохранится такая же интенсивность промысла, как и в последние пять лет, поэтому в дальнейших расчетах использовали осредненное значение коэффициента эксплуатации.

Модель с возрастной структурой (TISVPA) показала резкое снижение биомассы трески в 2014–2022 гг. с 2,5 до 0,6 млн т, хотя минимальное значение будет находиться выше биологически безопасного уровня, соответствующего предосторожному подходу ( $B_{pa}$ ).

Использование индекса АМО для оценки среднесрочной перспективы динамики биомассы трески свидетельствует о плавном снижении запасов в течение 2016–2025 гг. с 2,7 до 2,2 млн т. Безусловно, полученная с учетом индекса АМО динамика биомассы (как интегрального индекса качества условий формирования численности поколений) и накопленной интенсивности промысловой эксплуатации является, скорее всего, экспериментальным подходом. Однако, по мнению авторов, является полезной, поскольку основывается на принципиально другой информации по сравнению с той, которая традиционно используется в моделях с возрастной структурой. Другим полезным свойством использования индекса АМО в среднесрочном прогнозе является то, что точность оценки динамики биомассы существенно выше, так как основана на более тесных связях организм—среда, чем зависимость запас—пополнение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Привлечение для процедуры расчета оценки состояния запасов баренцевоморской трески данных промысловой статистики позволило частично компенсировать низкое качество информационного обеспечения прогноза, вызванного неполным объемом науч-

ных данных за 2016–2017 гг., и выполнить оценку более точно.

Представленные результаты были использованы на 47-й сессии Совместной российско-норвежской комиссии по рыболовству (СРНК) и позволили увеличить объем ОДУ до 775 тыс. т по сравнению с рекомендованным ИКЕС 712 тыс. т.

По результатам прогнозных расчетов с использованием модели с возрастной структурой в среднесрочной перспективе следует ожидать достаточно резкое снижение биомассы запаса с 2,5 до 0,6 млн т, которое к 2024 г. сменится ростом.

Использование индекса АМО в качестве альтернативного источника информации для прогноза динамики биомассы запаса трески предполагает более оптимистичный сценарий, при котором снижение биомассы в течение 2018–2025 гг. будет проходить плавно — с 2,7 до 2,2 млн т.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булатов О.А., Котенев Б.Н., Борисов В.М., Моисеенко Г.С. Современное состояние запасов трески Баренцева моря и прогноз ОДУ на 2008 г. // Рыб. хоз-во. 2007. Вып. 5. С. 61–65.

Васильев Д.А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006611764 // Реестр программ для ЭВМ. 2006.

Васильев Д.А., Булатов О.А. Оценка запасов северо-восточных арктической трески и пикши с помощью модели TISVPA // Вопр. рыболовства. 2015. Т. 16. №4. С. 497–505.

Bulatov O.A. Climate change and the fishery in Russia-2025 // ICES CM 2013/B:70. 2013. Ref. 3267.

ICES. Report of the Working Group on Inter-benchmark Protocol on Northeast Arctic Cod (2017) // ICES CM 2017/ACOM:29. 2017a. 236 p.

ICES. Report of the Arctic fisheries working group (AFWG) // ICES CM2017/ACOM:06. 2017b. 495 p.

*Vasilyev D.* Key aspects of robust fish stock assessment. M.: VNIRO Publ., 2005. 105 p.  
*Vasilyev D.* NEA cod stock assessment by means of TISVPA // AFWG. 2017. WD\_16. 2017. 10 p.

**NEW APPROACHES TO NORTH-EAST ARCTIC COD STOCK ASSESSMENT AND FORECASTING TAKING INTO CONSIDERATION THE FISHERY AND CLIMATE DATA**

© 2018 y. O.A. Bulatov, D.A. Vasilyev

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

ICES Arctic Fisheries Working Group traditionally implements mathematical models based on scientific and fishery data for cod stock size and TAC (Total Allowable Catch) assessment. In 2016 и 2017 some of scientific surveys in the Barents Sea were not properly conducted or were not conducted at all. This decreased the quality of the results and gave rise to interest in implementation of additional sources of information. Such an additional source of information was the data from the “Rybolovstvo” Information System. The results of the assessment showed that the current state of cod stock allows to increase TAC for 2018 for more than 20% with respect to the value adopted by ICES Arctic Fisheries Working Group. The values of AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) Index, which revealed high correlation with the stock biomass, were used for forecasting the spawning stock biomass till 2025 what resulted in substantially different estimates of cod fishery perspectives in comparison to the results of implementation of traditional methods. The results obtained show the necessity of broadening of information basis used for cod stock assessment and forecasting in the cases of deficit of traditional data.

*Keywords:* stock assessment, North-East Arctic cod, total allowable catch.