

УДК 597.587.9-152.6.08(268.45)

И. С. Третьяков, Ю. А. Ковалев

## Применение производственной модели Шефера для оценки запаса черного палтуса Баренцева моря

I. S. Tret'yakov, Yu. A. Kovalev

### Using the Schaefer production model for assessment of the Barents Sea Greenland halibut

**Аннотация.** В 2010 г. был снят мораторий на коммерческий промысел черного палтуса Баренцева моря. На данный момент управление промыслом осуществляется на основе трендового метода. Это связано с плохой настройкой на входные данные ранее использовавшейся модели оценки величины запаса, которая показала свою несостоятельность. В работе проведены расчеты величины запаса черного палтуса Баренцева моря при помощи производственной модели Шефера и сделаны выводы об ее применимости.

**Abstract.** In 2010 commercial fishing of Greenland halibut in the Barents Sea was reopened. But due to poor fitting of the previous model to input data, management of fishery is currently being performed using the survey trends. In this paper, the calculations of the Barents Sea halibut stock based on the Schaefer production model have been presented and some conclusions about the applicability of this model have been made.

**Ключевые слова:** черный палтус, оценка запаса, производственная модель, Шефер, биомасса.  
**Key words:** Greenland halibut, stock assessment, production model, Schaefer, biomass.

#### Введение

Во второй половине XX в. практически бесконтрольный промысел черного палтуса в Баренцевом море привел к значительному сокращению его запасов [1]. В 1992 г. это побудило Смешанную Российско-Норвежскую Комиссию по рыболовству (СРНК) ввести запрет на его прямой промысел.

В 2010 г., после 18-летнего моратория, специализированный промысел черного палтуса в Баренцевом море был возобновлен. В 2013 г. ИКЕС<sup>1</sup> организовал семинар по экспертизе методов оценки запаса черного палтуса. В ходе семинара было установлено, что использовавшаяся ранее модель VPA с настройкой XSA неприменима в настоящее время для оценки величины запаса в связи с плохой настройкой модели на входные данные.

В данной работе, в рамках поиска альтернативных методов оценки, рассмотрена производственная модель Шефера [2], выполнены расчеты величины запаса и проанализированы полученные результаты.

#### Материал и методы

В работе использована наиболее простая реализация настройки производственной модели Шефера, представленная в программном обеспечении ASPIC [3]. В тестовых расчетах, за исключением специально оговоренных случаев, были использованы данные за весь период наблюдений, с начала промышленного лова в 1964 г. Также в большинстве случаев было сделано допущение о том, что в начале промысла (1964 г.) величина биомассы равнялась емкости среды ( $B_1 = K$ ). Статистика вылова и индексы численности, полученные в научных съемках, взяты из данных, используемых в рабочей группе по арктическому рыболовству [4] и на семинаре по экспертизе оценки запасов гренландского палтуса [5] (табл.). При стандартизации производительности промысла был использован метод обобщенных линейных моделей (GLM). В связи с тем, что в массиве промысловых данных, использованных для расчетов, отсутствовала информация о выловах в период с 1992 по 1995 гг., а также именно в это время происходило повышение промысловой мощности российского флота, вводились более эффективные орудия лова и новые промысловые суда, в модели стандартизации не удалось учесть все подобные изменения, и полученный индекс оказался неоднороден во времени, т. е. он не может быть использован как непрерывный ряд, отражающий динамику запаса. Более правильным будет разделение его на два индекса для периодов до 1991 г. и после 1996 г.

---

<sup>1</sup> International Council for the Exploration of the Sea – Международный совет по исследованию моря.

Таблица

Выловы (тыс. т) и индексы численности черного палтуса в Баренцевом море в 1964–2014 гг.

Год	Вылов, тыс. т	CPUE (т/час траления)	NOR	RUS	ECO
1964	40.39	0.55	–	–	–
1965	34.75	0.39	–	–	–
1966	26.32	0.35	–	–	–
1967	24.27	0.40	–	–	–
1968	26.17	0.44	–	–	–
1969	43.79	0.46	–	–	–
1970	89.48	0.36	–	–	–
1971	79.03	0.25	–	–	–
1972	43.06	0.21	–	–	–
1973	29.94	0.25	–	–	–
1974	37.76	0.27	–	–	–
1975	38.17	0.22	–	–	–
1976	36.07	0.17	–	–	–
1977	28.83	0.13	–	–	–
1978	24.62	0.15	–	–	–
1979	17.31	0.18	–	–	–
1980	13.28	0.18	–	–	–
1981	15.02	0.29	–	–	–
1982	16.79	0.30	–	–	–
1983	22.15	0.26	–	–	–
1984	21.88	0.27	–	113.7	–
1985	19.95	0.33	–	128.4	–
1986	22.88	0.28	–	83.7	–
1987	19.11	0.25	–	48.7	–
1988	19.59	0.23	–	49.0	–
1989	20.14	0.21	–	76.1	–
1990	23.18	0.16	–	60.3	–
1991	33.32	0.14	–	97.9	–
1992	8.60	–	–	100.2	–
1993	11.93	–	–	86.0	–
1994	9.23	–	67.15	69.2	–
1995	11.73	–	80.89	71.6	–
1996	14.35	0.82	82.92	86.8	–
1997	9.41	0.96	78.97	75.6	–
1998	11.89	0.99	83.06	102.4	–
1999	19.52	1.16	104.17	91.5	–
2000	14.30	1.12	80.08	121.9	–
2001	16.37	1.45	93.51	161.6	–
2002	13.29	0.99	96.28	84.2	–
2003	13.45	1.04	109.76	95.8	–
2004	18.90	0.61	104.24	132.6	12.84
2005	18.83	0.66	87.03	111.2	25.09
2006	17.90	0.59	81.77	184.8	35.16
2007	15.45	0.59	88.25	213.3	40.06
2008	13.79	0.59	84.78	239.4	44.48
2009	12.99	1.09	107.9	256.4	56.04
2010	15.23	1.29	–	321.9	58.48
2011	16.61	2.03	84.98	433.3	46.79
2012	20.29	1.48	–	318.5	71.36
2013	22.17	1.34	63.13	–	55.90
2014	22.24	1.67	–	209.3	44.67

Примечание. CPUE – стандартизированный улов на единицу усилия российских судов, NOR – Норвежские индексы съемки, RUS – индексы численности по данным российских съемок, ECO – индексы численности, полученные по данным экосистемной съемки.

### Результаты и обсуждение

При рассмотрении имеющихся индексов численности черного палтуса Баренцева моря необходимо иметь в виду, что динамика запаса, соответствующая этим наблюдениям, может существенно отличаться. Стандартизированный индекс улова на усилие российского промыслового флота демонстрирует медленное снижение в первой части периода и растет после 1996 г., когда вылов был существенно сокращен (рис. 1). Следует заметить, что рост запаса, соответствующий увеличению индекса CPUE после 1990-х гг., менее интенсивный, чем рост, отмечаемый в индексах российской и экосистемной съемок. Эти два вида съемки демонстрируют быстрое увеличение индексов, начиная с 2005 г. Данные же норвежской съемки в этот период еще в большей степени противоречат остальным наблюдениям и свидетельствуют скорее о стабилизации запаса на некотором уровне, чем о быстром его росте. Такое существенное различие в сигналах может вызвать трудности для интерпретации при использовании любой модели. Для производственной же модели, гибкость которой по сравнению с когортными методами ничтожно мала, сложности могут быть еще больше.

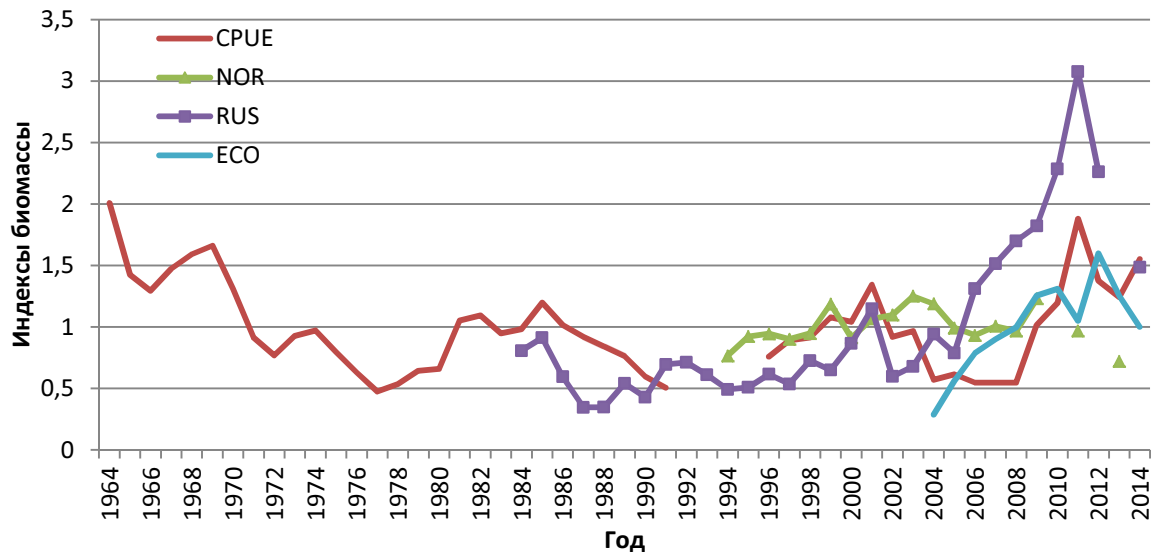


Рис. 1. Динамика индексов биомассы черного палтуса Баренцева моря в 1964–2014 гг. (Представленные индексы нормированы на среднее значение для приведения их к единой шкале; ряд CPUE разделен на 2 части: 1964–1991 гг. и 1996–2014 гг.)

Чтобы проанализировать возможное влияние отмеченных выше противоречий в сигналах индексов на оценку запаса, выполняемую в производственной модели, были выполнены тестовые расчеты. Первый вариант настройки производственной модели выполнен с использованием стандартизированного улова на усилие российского флота, взятого за первую часть периода (до 1991 г.), для которой данный индекс является однородным. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

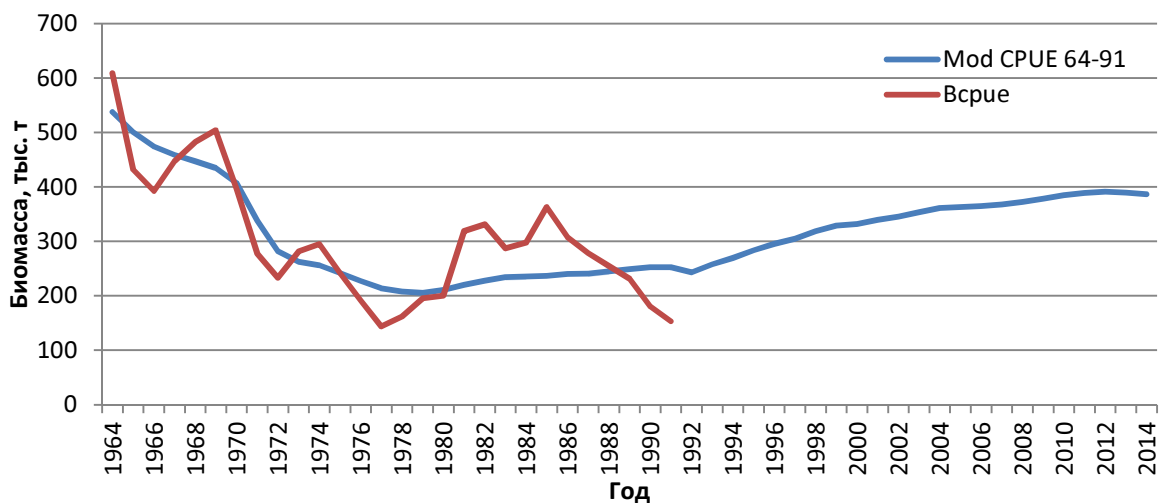


Рис. 2. Динамика запаса черного палтуса Баренцева моря в 1964–2014 гг. в соответствии с производственной моделью Шефера, настроенной на данные производительности промысла за период 1964–1991 гг.

В данном варианте модели параметр емкости среды (максимально возможная биомасса палтуса) оценен как  $K = 538$  тыс. т, максимальный устойчивый улов  $MSY = 23.7$  тыс. т, а параметр роста  $r = 0.18$ . Уровень изъятия, обеспечивающий максимальный вылов, оценен как  $F_{msy} = r/2 = 0.088$ . В соответствии с допущениями, сделанными при построении продукционной модели, снижение запаса, наблюдаемое в индексе, объясняется только наблюдаемыми уловами, а начальная биомасса считается максимально возможной. Рост биомассы после 1990-х гг. рассчитан моделью, исходя из наблюдаемых уловов и параметра  $r$ , настроенного на первой половине периода. Весьма интересно отметить, что данный рост запаса хорошо согласуется с независимыми данными – индексом российской съемки в период 1984–2004 гг. (рис. 3). Однако после 2004 г. быстрый рост, отмечаемый в российской и экосистемной съемках, не наблюдается в оценках биомассы по модели.

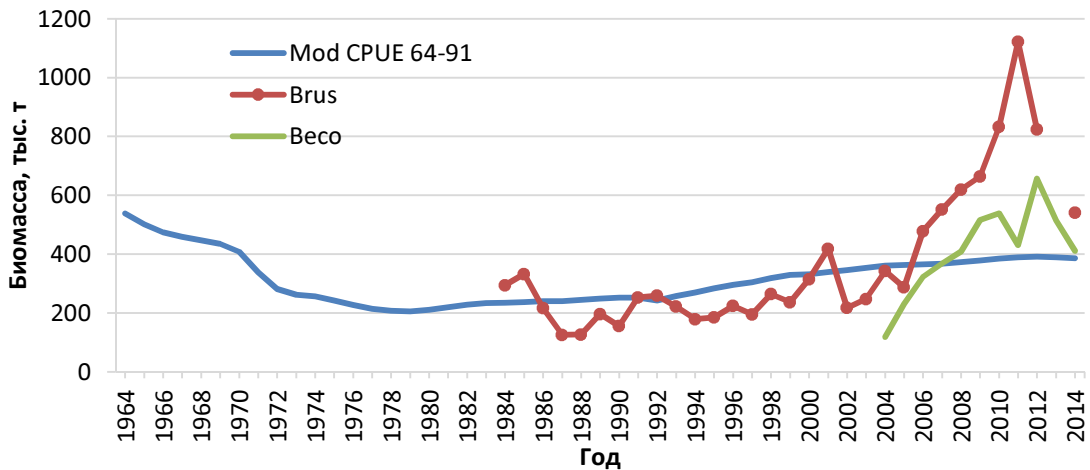


Рис. 3. Динамика запаса черного палтуса Баренцева моря в 1964–2014 гг. в соответствии с продукционной моделью Шефера, настроенной на данные производительности промысла за период 1964–1991 гг.; динамика индексов российской и экосистемной съемок, представленных как биомасса запаса (индекс  $\times q$ )

В данном варианте расчетов уровень биомассы запаса, оцениваемый в начале 2000-х гг., согласуется с абсолютной оценкой запаса палтуса, полученной по данным российской съемки – 433 тыс. т [4], вследствие чего оценка емкости среды также представляется правдоподобной. Можно сделать и другое заключение: запас палтуса в 1990-х гг. не был переловлен или был переловлен весьма незначительно, и биомасса запаса была близка к уровню  $MSY$ , что также хорошо объясняет последующий рост запаса при сокращении вылова (рис. 4).

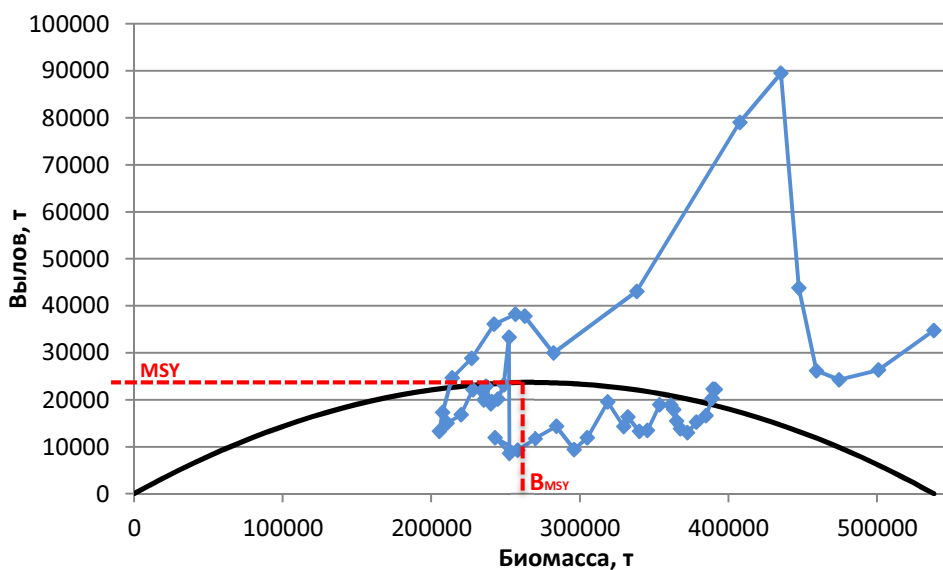


Рис. 4. Зависимость продукции от биомассы запаса, рассчитанная с использованием параметров модели, настроенной на CPUE за период 1964–1991 гг., и наблюдаемые уловы (точки). Вершина параболы соответствует максимальной прибавочной продукции ( $MSY$ ) при биомассе  $B_{MSY}$

Таким образом, данный вариант расчетов по производственной модели имеет несколько косвенных свидетельств о возможном ее соответствии реальной динамике и параметрам запаса палтуса в период 1964–2004 гг.

Цель второго варианта расчетов по производственной модели заключалась в описании наблюдаемого после 2004 г. быстрого роста запаса с использованием данных только российской и экосистемной съемок (рис. 5). В данном варианте модели начальная биомасса в 1964 г. также была зафиксирована равной параметру емкости среды, который был оценен моделью как  $K = 333.5$  тыс. т. Максимальный устойчивый улов оценен на уровне  $MSY = 30.57$  тыс. т, параметр  $r = 0.37$ ,  $F_{MSY} = 0.18$ . В этом случае, пытаясь описать быстрый рост запаса, согласующийся с динамикой индексов съемок, в период после 2004 г., когда уловы сократились, модель максимально занизила начальную численность запаса, чтобы наблюдаемый вылов сократил его до минимально возможной величины, в то же время существенно увеличив параметр  $r$ . Надо отметить, что найденный при настройке баланс параметров находится в очень узком диапазоне. При попытке изменить  $K$  или  $r$  на незначительную величину модель вообще не в состоянии описать динамику запаса. Например, изменение  $r$  в третьем знаке после запятой может привести к расчету, в котором текущая биомасса запаса становится отрицательной.

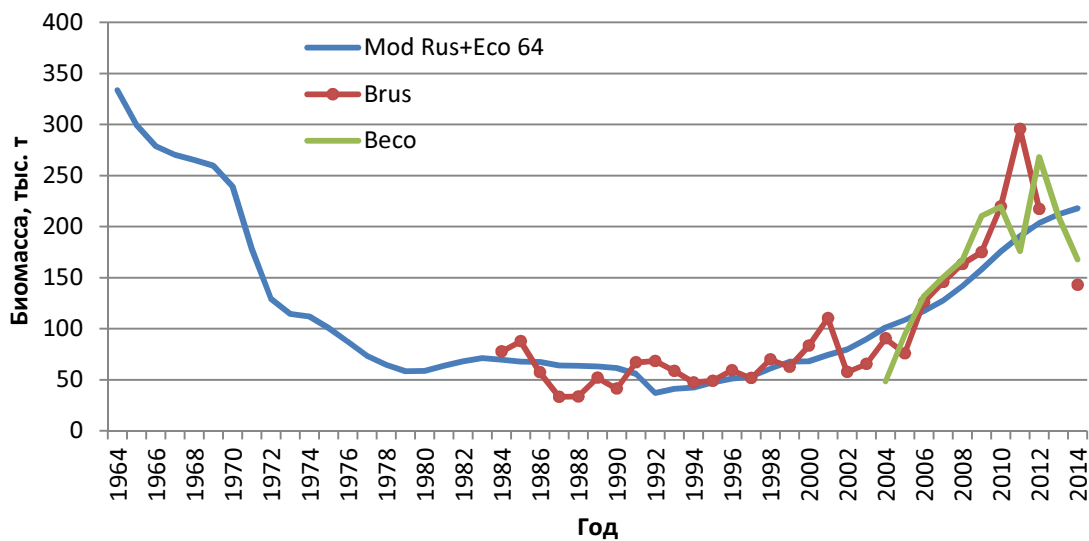


Рис. 5. Динамика запаса черного палтуса Баренцева моря в 1964–2014 гг. в соответствии с производственной моделью Шефера, настроенной на данные российской донной и экосистемной съемок; динамика индексов этих съемок, представленных как биомасса запаса (индекс  $\times q$ )

В соответствии с найденным решением начальный запас палтуса оценен как неправдоподобно малая величина, существенно меньшая, чем упоминаемая выше максимальная абсолютная оценка по российской съемке. В соответствии с данным вариантом модели запас был существенно переловлен в 1990-х гг. и быстро восстановил свою биомассу при снижении уловов благодаря способности к быстрому росту, оцениваемому параметром  $r$  (рис. 6).

Следует заметить, что подобные характеристики популяции палтуса Баренцева моря весьма маловероятны. Большая величина  $r$  предполагает, что темпы роста рыбы и ее естественная смертность сильно зависят от плотности популяции, однако такие предположения не находят никаких подтверждений в данных наблюдений и трудно объяснимы даже в теории. Вероятность столь существенного влияния плотности популяции на динамику запаса палтуса ничтожно мала. Единственным приемлемым объяснением может быть существенная изменчивость численности пополнения палтуса, которая действительно весьма вероятна, что продемонстрировано в оценках его запаса, выполненных в модели Gadget [4]. В Gadget производится настройка на размерную структуру запаса и учитывается ее динамика, что позволяет сделать некоторые заключения о начальной численности поколений палтуса. Характер изменчивости пополнения, при котором появляется одно или несколько высокоурожайных поколений, после которых наступает продолжительный период с малоурожайными поколениями, отмечается не только в результатах оценки по модели Gadget, но также и в съемке, учитывающей молодь палтуса [6].

Если такой характер динамики пополнения палтуса на самом деле реален, он может объяснить наблюдаемый в российской и экосистемной съемках быстрый рост индексов. Однако интерпретация этого явления в производственной модели абсолютно нереалистична, т. к. в соответствии с ограничениями, введенными допущениями модели, она не в состоянии учесть подобную изменчивость пополнения. Это могло бы быть

учтено в параметре  $r$ , если такие изменения в численности пополнения зависели бы от плотности популяции, но имеющиеся данные не соответствуют такому предположению – четкой зависимости пополнения от биомассы запаса не наблюдается. Скорее мы наблюдаем значительную изменчивость пополнения, обусловленную некими иными причинами, чем плотность популяции. Продукционная модель могла бы быть весьма эффективной для описания динамики запаса с четко выраженной функцией запас – пополнения, подобной функции Рикера. В нашей же ситуации продукционная модель изменяет доступные ей параметры до мало реалистичных величин. Возможно, применение версии продукционной модели, допускающей изменение параметра  $r$  в разные периоды, могло бы дать более надежные оценки, но отсутствие данных наблюдений за пополнением, особенно в начальный период, вряд ли позволит сделать правильные предположения о периодах с различными значениями этого параметра.

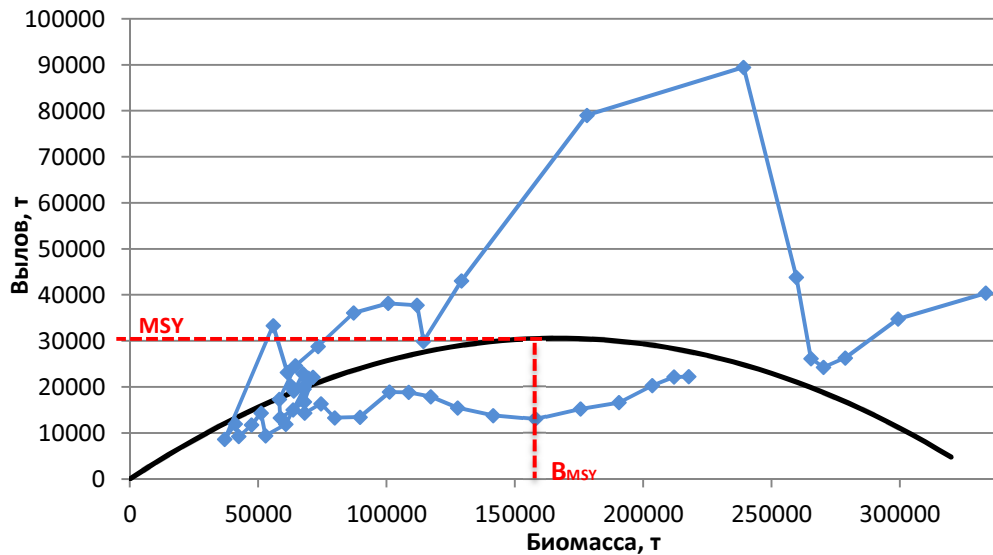


Рис. 6. Зависимость продукции от биомассы запаса, рассчитанная с использованием параметров модели, настроенной на индексы российской и экосистемной съемок, и наблюдаемые уловы (точки). Вершина параболы соответствует максимальной прибавочной продукции (MSY) при биомассе  $B_{MSY}$

Рассматривая результаты варианта продукционной модели, настроенной только на данные российской и экосистемной съемок, следует также сказать, что полученная динамика запаса палтуса плохо согласуется с другими независимыми наблюдениями – индексами CPUE и норвежской съемки (рис. 7).

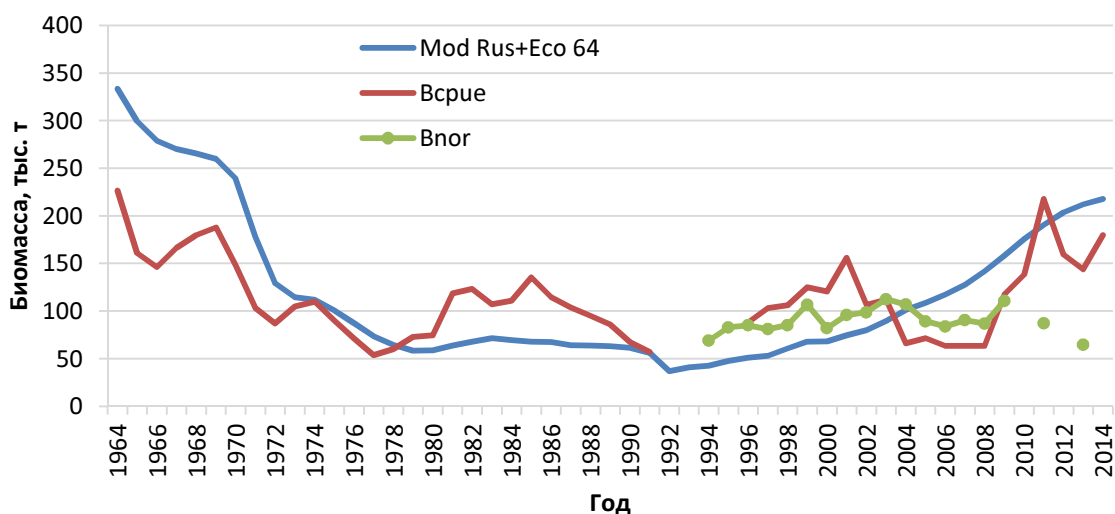


Рис. 7. Динамика запаса черного палтуса Баренцева моря в 1964–2014 гг. в соответствии с продукционной моделью Шефера, настроенной на данные российской донной и экосистемной съемок; динамика индекса CPUE и индекса норвежской съемки, представленная как биомасса запаса (индекс  $\times q$ )

Следующим вариантом расчетов стала настройка производственной модели на данные российской и экосистемной съемок при допущении, что стартовым годом модели являлся 1984 г. – год начала российской съемки. Параметр  $B_1$  (биомасса популяции в 1984 г.) при этом был взят свободным от допущений и настраивался вместе с остальными. Данный вариант модели хорошо описал динамику индексов численности двух используемых съемок и рассчитал  $K = 957.5$  тыс. т, а  $MSY = 51.6$  тыс. т (рис. 8).

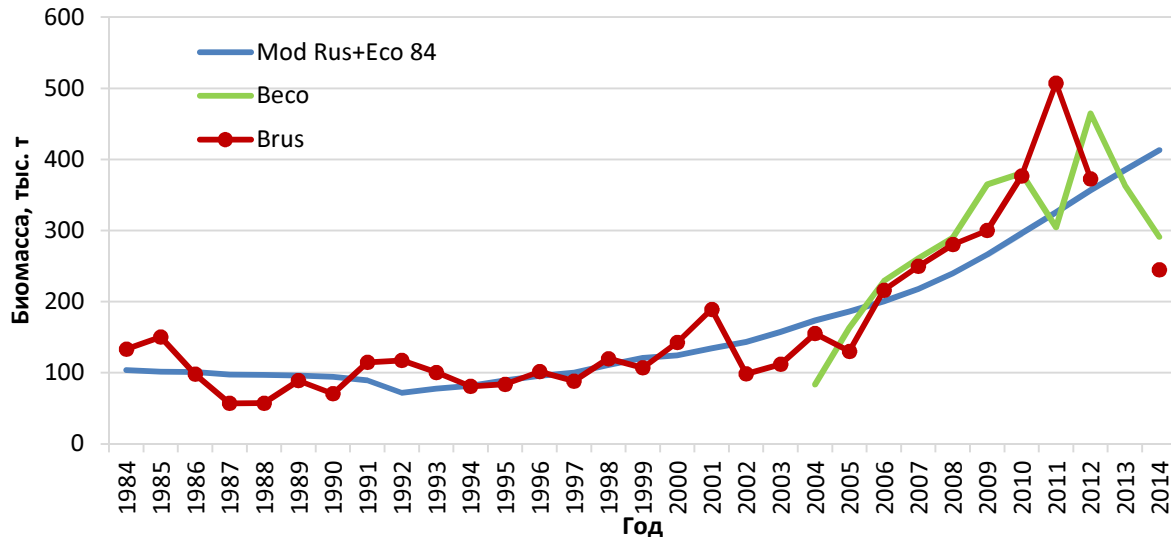


Рис. 8. Динамика запаса черного палтуса Баренцева моря в 1964–2014 гг. в соответствии с производственной моделью Шефера, настроенной на данные российской донной и экосистемной съемок с 1984 г., где стартовая биомасса 1984 г. (параметр  $B_1$ ) была оценена моделью; динамика индексов российской донной и экосистемной съемок, представленных как биомасса запаса (индекс  $\times q$ )

Можно было бы предположить, что такая модель описывает ситуацию существенно возросшей продуктивности запаса в период, когда появились два подряд очень урожайных поколения палтуса. С другой стороны, эта модель никак не учитывает тот факт, что после этих поколений в течение длительного времени не появилось ни одного урожайного поколения, и ее допущения больше не соответствуют действительности. Также при рассмотрении всего имеющегося ряда данных по уловам невозможно объяснить, каким образом столь большая популяция в начальный период эксплуатации, где она должна быть равна или близка емкости среды, при весьма значительном потенциале роста (значении параметра  $r = 0.22$ ) могла сократиться с почти миллиона тонн до 103 тыс. т (оцененное значение параметра  $B_1$ ) при столь малых (в сравнении с допущениями модели) величинах промыслового изъятия: лишь в 1970–1971 гг. выловы превысили значение  $MSY$ , все остальные годы уловы были значительно ниже. Этому не может быть никаких рациональных объяснений, и данный вариант моделируемой популяции палтуса является артефактом.

### Заключение

На данный момент рассмотренная производственная модель не может быть использована для выполнения оценки запаса черного палтуса Баренцева моря. Одним из серьезных сдерживающих факторов является невозможность описания моделью наблюдаемого характера изменчивости урожайности поколений, флуктуация которых весьма велика, а зависимость от биомассы запаса (плотности популяции) не просматривается.

В то же время производственная модель имеет некоторую ценность как инструмент диагностики для анализа имеющихся данных о вылове и индексов численности. Модель может быть использована для приблизительной оценки таких параметров, как емкость среды или биомасса запаса до начала его эксплуатации, и возможных уровней изъятия. В качестве таких оценок могут быть использованы, например, результаты, полученные при настройке модели на данные стандартизированных индексов улова на усилие российского промыслового флота за период 1964–1991 гг., согласно которым емкость среды (максимально возможный запас палтуса) оценивается около полумиллиона тонн, а возможный уровень максимального устойчивого улова – около 25 тыс. т.

### Библиографический список

1. Смирнов О. В. Черный палтус норвежско-баренцевоморской популяции. Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2006. 113 с.
2. Schaefer M. B. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. IATTC Bull. 1954. V. 1, N 2. P. 25–56. URL: [http://aquaticcommons.org/3530/1/Vol\\_1\\_no\\_2.pdf](http://aquaticcommons.org/3530/1/Vol_1_no_2.pdf).

3. Prager M. H. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model. *Fishery Bulletin* 1994. V. 92. P. 374–389.
4. ICES. 2015. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG), 23–29 April 2015, Hamburg, Germany. ICES CM, 2015. 590 p.
5. ICES. 2013. Report of the Benchmark Workshop on Greenland Halibut Stocks (WKBUT), 26–29 November 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM, 2013. 367 p.
6. ICES. 2014. Report of the Data Compilation Workshop on Northeast Arctic Greenland Halibut and Assessment Methods (DCWKNGHD), 10–12 November 2014, Murmansk, Russia. ICES CM, 2014. P. 8–14.

#### References

1. Smirnov O. V. Chernyi paltus norvezhsko-barentsevomorskoy populyatsii [Greenland halibut of the Norwegian and Barents Sea population]. Murmansk : Izd-vo PINRO, 2006. 113 p.
2. Schaefer M. B. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *IATTC Bull.* 1954. V. 1, N 2. P. 25–56. URL: [http://aquaticcommons.org/3530/1/Vol.\\_1\\_no.\\_2.pdf](http://aquaticcommons.org/3530/1/Vol._1_no._2.pdf).
3. Prager M. H. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model. *Fishery Bulletin* 1994. V. 92. P. 374–389.
4. ICES. 2015. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG), 23–29 April 2015, Hamburg, Germany. ICES CM, 2015. 590 p.
5. ICES. 2013. Report of the Benchmark Workshop on Greenland Halibut Stocks (WKBUT), 26–29 November 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM, 2013. 367 p.
6. ICES. 2014. Report of the Data Compilation Workshop on Northeast Arctic Greenland Halibut and Assessment Methods (DCWKNGHD), 10–12 November 2014, Murmansk, Russia. ICES CM, 2014. P. 8–14.

#### Сведения об авторах

**Ковалев Юрий Александрович** – Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, канд. биол. наук, зав. лабораторией; e-mail: kovalev@pinro.ru

**Kovalev Yu. A.** – Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Cand. of Biol. Sci., Head of Laboratory; e-mail: kovalev@pinro.ru

**Третьяков Иван Сергеевич** – Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, мл. науч. сотрудник; e-mail: tis@pinro.ru

**Tret'yakov I. S.** – Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Junior Researcher; e-mail: tis@pinro.ru