

ЧЁРНЫЙ ПАЛТУС БАРЕНЦЕВА МОРЯ: ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ И ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫСЛА

© 2025 г. А.И. Михайлов¹ (spin: 5185-3476), В.А. Крючков¹,
А.А. Русских² (spin: 8046-1142), А.Е. Бобырев^{1,3} (spin: 4580-6273)

1 – ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Россия, Москва, 105187

2 – Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Россия, Мурманск, 183038

3 – Институт проблем экологии и эволюции РАН, Россия, Москва, 119071

E-mail: mikhaylovai@vniro.ru

Поступила в редакцию 03.02.2024 г.

В работе рассматривается история отечественного промысла чёрного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) Баренцева моря с середины 1960-х гг. по настоящее время. На основании статистического анализа базы данных судовых суточных донесений реконструируются ряды индексов численности на различных этапах развития промысла. Проводится сопоставление эффективности различных промысловых комплексов и производится корректировка промыслового улова на усилие с учётом фактора роста производительности. Обсуждаются проблемы применения структурированных по размеру моделей популяционной динамики к оценке состояния запаса чёрного палтуса. Показано, что современное состояние запасов палтуса позволяет изымать до 28 тыс. т без ущерба для воспроизводства популяции.

Ключевые слова: оценка запасов, чёрный палтус, CPUE.

ВВЕДЕНИЕ

Чёрный палтус (*Reinhardtius hippoglossoides*) – циркумполярный вид, обитающий в зонах взаимодействия умеренных и холодных водных масс. Встречается на глубинах от 20 до 2200 м, совершая достаточно протяжённые миграции между нерестовыми и нагульными площадями. Палтус имеет довольно сложную внутривидовую структуру, формируя ряд отдельных популяций, среди которых популяция Баренцева моря является одной из наиболее многочисленных и значимых для отечественного промысла. Нерест палтуса происходит в осенний период на склоне континентального шельфа, и промыслом используются, главным образом, его нерестовые скопления. Чёрный палтус обладает выраженным половым диморфизмом. Соотношение полов смещено в сторону преобладания самцов, причём темп роста самцов и самок довольно сильно

различается. Применяемая в настоящее время промысловая мера (45 см) ориентирована на возраст полового созревания самцов. При длине тела 45 см доля половозрелых самцов близка к 100%, в то время как самки при таких размерах только начинают достигать половозрелости, а в массе созревают при длине тела более 55 см (Смирнов, 2006). В связи с этим возникает некоторое противоречие между экономической целесообразностью промысла и его биологической безопасностью. Неселективное изъятие особей промыслового размера неизбежно приводит к повышенной смертности неполовозрелых самок. С другой стороны, если бы промысловая мера была ориентирована на возраст созревания самок, из промысла была бы исключена большая часть популяции, представленная половозрелыми самцами, которые в этом случае погибали бы от естественных причин. Поэтому надёжная

оценка состояния запаса и выработка мер регулирования промысла представляет собой актуальную задачу.

В настоящее время эксплуатация запаса палтуса осуществляется несколькими странами, из которых лидирующие позиции занимают Российская Федерация и Норвегия. История отечественного промысла чёрного палтуса Баренцева моря начинается в 1964 г. Однако начало систематических исследований, связанных с оценками его запасов, приурочено к концу 1970-х гг., когда прибрежными государствами были введены 200-мильные экономические зоны, и регулирование промысла палтуса приобрело международный характер, а в динамике промысла к концу 1980-х гг. появились признаки истощения (Смирнов, 2006). Поэтому промысловые данные оказываются наиболее представительным источником информации о состоянии запаса за всю историю его эксплуатации. В данной работе предпринимается анализ массива данных судовых суточных донесений (ССД) отечественного флота, имеющих в распоряжении Полярного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Генеральная совокупность ССД достаточно неоднородна в статистическом смысле и может содержать систематические ошибки различной природы, что делает реконструкцию индекса численности нетривиальной задачей в области обработки больших данных. Современные тенденции в промысловых уловах на усилие (Catch per Unit of Effort – CPUE), реконструируемые в результате проведённого анализа, выступают дополнительным источником информации для структурированных моделей динамики численности популяции. Сопоставление наблюждённых данных с результатами моделирования решает двоякую задачу, с одной стороны, оценивая степень зашумлённости данных, и степень достоверности модели – с другой. В свою очередь, достоверные параметры динамики популяции позволяют оценить её продуктивность и определить величину максимального устойчивого улова (Maximum Sustainable Yield – MSY), как

основного показателя регулирования промысла.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Промысел баренцевоморской популяции чёрного палтуса осуществляется на склоне континентального шельфа Баренцева моря в осенний период. Распределение координат тралений отечественного флота в разные годы приведено на рисунке 1.

Можно заметить возросшую локализацию промысла на склоне континентального шельфа, что обусловлено не изменением ареала запаса, остающегося неизменным, а возросшей эффективностью обнаружения промысловых скоплений и повышением производительности лова.

За период с 1965 по 2024 гг. в целевом промысле палтуса участвовало до 420 различных судов отечественного флота. Информация судовых суточных донесений содержится в отраслевой базе данных и используется в данной работе для построения индекса численности. Для того, чтобы информация была репрезентативной, необходимо произвести предварительную обработку исходной информации согласно следующим критериям:

- Целевой лов – доля палтуса в улове превышает 50%;
- Пространственная однородность района промысла – свал глубин от 560 до 1000 м;
- Временная однородность – промысловый период с сентября по декабрь;
- Однородность производительности и селективности орудий промысла – промысел осуществлялся тралом.

Это позволяет исключить сезонную и пространственную вариабельность распределения запаса. В период нереста половозрелые особи концентрируются на свале глубин относительно однородно без выраженной пространственной структуры. В полученной таким образом выборке содержалось 98 406 записей. Вся выборка делилась на две части ССД до 1991 г. включительно и после 1996 г.

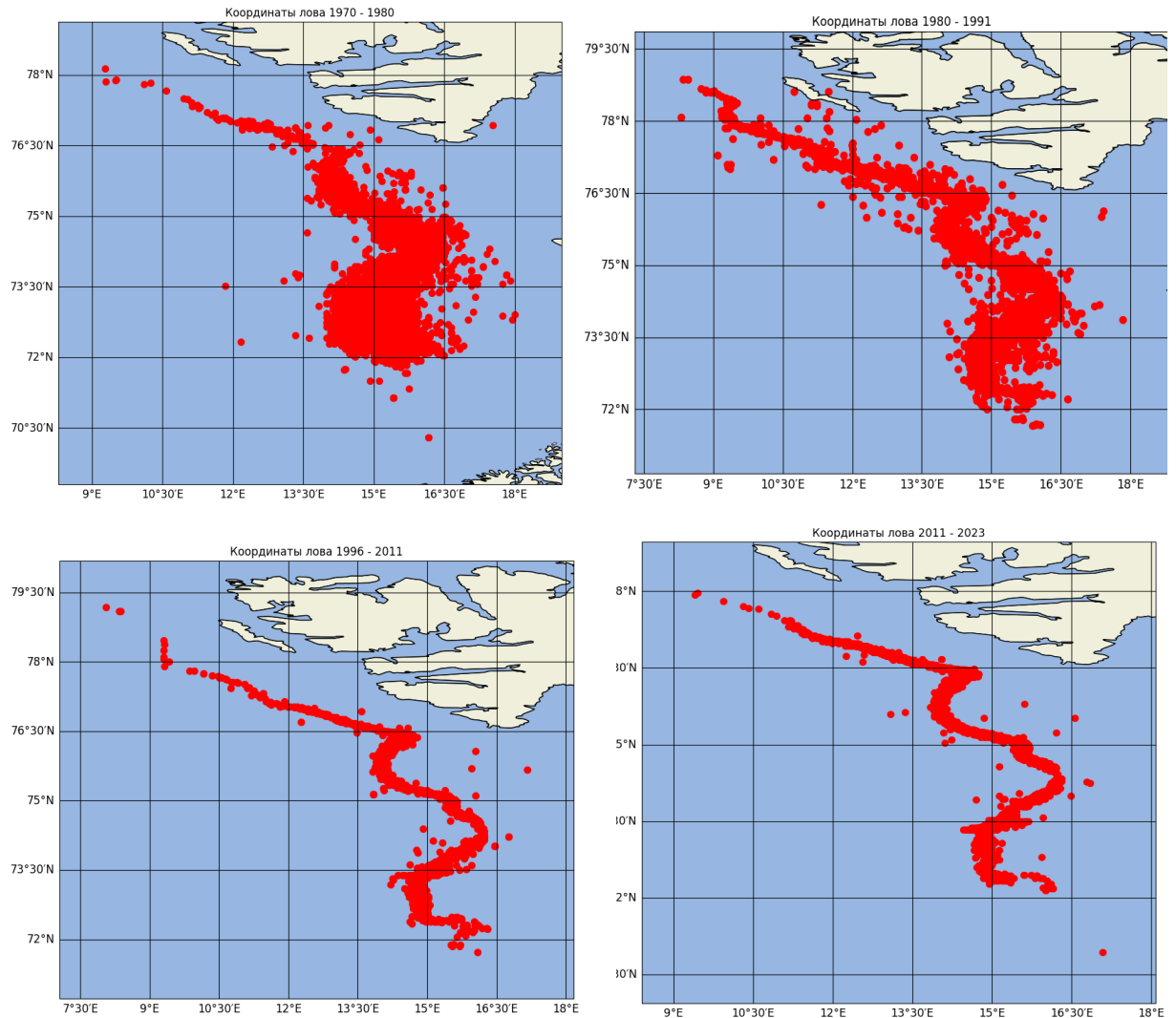


Рис. 1. Распределение координат тралений: А – в 1970–1980 гг.; Б – 1981–1991 гг.; В – 1996–2010 гг.; Г– 2011–2023 гг.

по настоящее время, поскольку в период 1992–1996 гг. целевой промысел палтуса отечественными судами практически не вёлся, и временной лаг базы данных не позволяет вычислить индекс численности за этот период. В дальнейшем из каждой выборки исключались суда, бывшие на промысле менее 30 раз и выловившие менее 15 т палтуса.

Состав флота претерпел значительные изменения в течение времени. В период с 1965 по 1980 гг. промысел осуществлялся преимущественно рыболовными траулерами (РТ) 1950–1960-х гг. постройки и, в меньшем объёме, большими морозильными рыболовными траулерами (БМРТПТ). В 1980-х гг. на

промысле стали преобладать посольно-свежьюе траулеры (ПСТ-О) и средние рыболовные траулеры трёх типов (СРТМ, СРТА, СТМ). С 1996 г. промысел был возобновлен средними траулерами, а суда других типов появляются эпизодически. Наконец, с 2010 г. промысел стал вестись мощными несерийными судами современной постройки (Н/СЕР-2).

Для того, чтобы исключить влияние различной производительности судов разных типов и их промыслового оборудования на индекс численности, используется стандартизация методом обобщённых линейных моделей (Михайлов, 2015) факторизация наблюдений по формуле (1):

$$\ln \text{CPUE}_{y,v} = \ln \text{CPUE}_y + \ln q_v + \eta \quad (1),$$

где y — год, v — тип промыслового комплекса, η — гауссовский шум.

В данных судовых журналов советского периода спецификация трала не указывалась, поэтому факторизация производительности промысла может быть осуществлена только по типам судов. В период 1964–1980 гг. большую часть специализированного промысла палтуса обеспечивали суда типа РТ. В 80-е гг. суда этого типа исчезают с промысла, по-видимому, в силу морального устаревания и выработки ресурса, и уловы обеспечиваются в основном судами типа ПСТ-О и СРТМ. Вылов по типам судов и суммарное количество часов траления в год приведены в таблицах 1 и 2.

Динамика логарифмических индексов производительности промысла для основных типов судов приведена на рисунке 2.

Можно заметить, что тенденции во всех индексах схожи, но индексы имеют разный масштаб, что при механическом усреднении внесло бы в индекс численности систематическую ошибку. Всего с 1969 г. по 1979 г. величина запаса сократилась более чем на 70%. В связи с обновлением промыслового флота в 1980-х гг., промысловая статистика советского периода фактически содержит два несоизмеримых индекса – индекс производительности судов РТ и судов ПСТ-О. 1980 г. образует разрыв статистики, и сопоставить индексы численности в 1979 и в 1981 гг. априорно нельзя. Их необходимо экстраполировать с помощью той или иной модели популяционной динамики или хотя бы из соображений непрерывности этой динамики и малой вероятности резких колебаний численности запаса. Из графиков видно, что в первой половине 1980-х гг. запас находился на более-менее постоянном уровне, но к концу десятилетия был окончательно подорван.

За период 1996–2010 гг. промысел осуществлялся преимущественно судами типов СРТМ, СТРА и СТМ при эпизодическом

появлении на промысле других типов. Наиболее часто встречающимся орудием промысла были тралы проекта 2561 с селективным или без селективного устройства, либо спецификация трала не указывалась. Динамика индекса производительности для судов СРТМ и СТРА в целом схожа (табл. 3, рис. 3), а судов СТМ сильно варьирует, что обусловлено частой сменой орудий промысла последними. Таким образом, индексы производительности СРТМ и СТРА представляется целесообразным объединить.

Индекс численности в конце 1990-х – начале 2000-х гг. не может рассматриваться как надёжный в силу малого объёма и низкого качества данных, в то время как тренд на восстановление запаса находится в согласии с последующей динамикой.

Логарифмические индексы производительности судов различных типов, участвовавших в промысле с 1996 по 2023 г., приведены в таблице 4.

Данные, представленные в таблице, в графическом виде отображены на рисунке 4.

Нетрудно заметить, что данные достаточно неоднородны, покрывают разные периоды и демонстрируют подчас разнонаправленные тренды. Однако, несмотря на неоднородность «сырых» данных прослеживается волнообразная динамика: снижение запаса с конца 1990-х до второй половины 2000-х гг. с последующим восстановлением и относительной стабилизацией в 2010-х гг. Из рисунка 4 видно, что с 2010 г. промысел осуществляется почти исключительно производительными несерийными судами. Поэтому при расчёте индекса численности в качестве стандартного уровня производительности следует выбрать производительность современного промыслового флота. Однако детальный анализ показал, что эта производительность так же является переменной величиной в силу смены орудия промысла. В таблице 5 приведены логарифмические индексы производительности тралов различных конструкций, применяемых на современных судах.

ЧЁРНЫЙ ПАЛТУС БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Таблица 1. Вылов по типам судов в т

Год	БМРТПТ	ПСТ-О	РТ	СРТМ	СТРА	СТМ
1964	241		7959,728			
1965			5180,905			
1966			2840,588			
1967			1168,53			
1968	6		854,855			
1969	583,5		4455,69			
1970	53		11811,78			
1971	13,4		4701,675			
1972	123,99		1246,33	9,985		
1973	4,5		412,25			
1974	308,74		1268,3			
1975	30,5		508,18			
1976	59,15		420,74			
1977	386,56	29,6	1358,655			
1978	51,95	165,32	830,01			
1979	7,3		213,51			
1980			0,5			
1981	19,7	602,96		2039,53	173,5	
1982	0,3	2685,79	1,2	1417,54		
1983		1594,69	0,72	314,39		204,11
1984		421,21		328,29		20,39
1985		158,16		228,06		
1986		9,86				26,78
1987	32,47	106,29		30,92		
1988		282,68		2	102,8	
1989	8,45	70,6				15,2
1990	3,25	685,26			65,58	60,88
1991	0,98	5,13				

Данные, представленные в таблице, в графическом виде отображены на рисунке 5.

На рисунке 4 индекс численности в 2016–2023 гг. почти постоянен. При разбивке выборки по типам орудий промысла и исклю-

чении из выборки особо мощного судна «Баренцбург», участвовавшего в промысле палтуса только в 2020 г., в ряду индексов численности выявляется слабый тренд на снижение запаса. Постоянство среднего уровня

Таблица 2. Совокупная продолжительность траления по типам судов в часах

Год	БМРТПТ	ПСТ-О	РТ	СРТМ	СТРА	СТМ
1964	243,1		13781,1			
1965			13325,3			
1966			8383,9			
1967			2896,2			
1968	26,4		1679,5			
1969	496,8		8221,5			
1970	69,9		34390,3			
1971	40,2		21537,8			
1972	244,5		6369,5	60		
1973	14,4		1690			
1974	778,2		5012,3			
1975	71,2		2639,7			
1976	224,9		2493,5			
1977	1384,1	233,4	11681,4			
1978	135,5	1152,8	5894,4			
1979	44,5		1559,6			
1980			3,4			
1981	82,9	1699,8		7109,9	719	
1982	1,7	8144,8	15,5	5390,3		
1983		5765,8	7,8	1240,4		703,5
1984		1439		1260,8		68,1
1985		495,8		826,1		
1986		28,8				56,5
1987	146,6	315,8		151,1		
1988		1011,5		12	639,8	
1989	116,7	385,1				61
1990	50,8	4387,4			502,6	158,3
1991	11	64,1				

производительности промысла обусловлено постепенным переходом от менее производительных орудий промысла к более производительным. Из таблицы 5 видно, что тралы проекта SELSTAD444 сменились вначале тралами проекта SELSTAD520, а затем промысел

стал вестись исключительно тралами проекта MORENOT520. Относительная производительность тралов рассчитана как средняя разность средних логарифмических индексов производительности за те годы, когда промысел вёлся несколькими типами тралов.

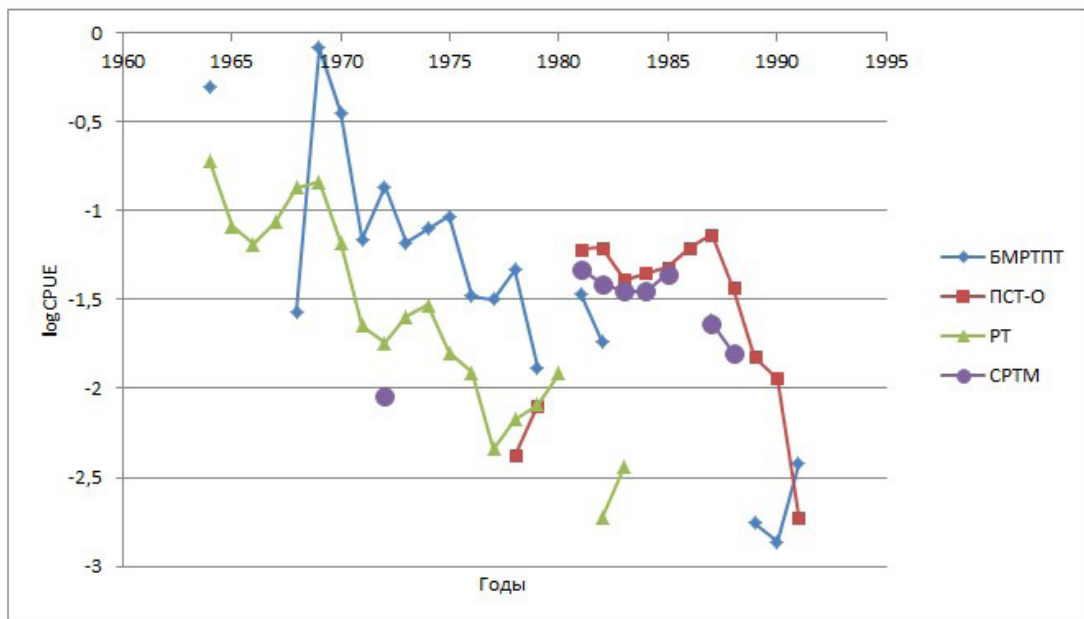


Рис. 2. Динамика производительности судов в логарифмическом масштабе (1965–1991 гг.).

Таблица 3. Логарифмические индексы производительности судов

Год	СРТМ	СТРА	СРТМ+СРТА
1996		-0,31713	-0,31713
1997		0,29471	0,29471
1998		-0,15963	-0,15963
1999		0,353968	0,353968
2000	0,297688	0,066459	0,203568
2001	0,383772	-0,36313	0,265544
2002	-0,13298	-0,09902	-0,11254
2003	-0,84665	-0,16753	-0,18594
2004	-0,67062	-0,58426	-0,61007
2005	-0,68735	-0,5222	-0,59883
2006	-0,78662	-1,08354	-0,82854
2007	-0,81773	-1,08394	-0,98218
2008	-0,7096	-0,52902	-0,66452
2009	-0,44367		-0,44367
2010	0,273293		0,273293
2011	-0,06639		-0,06639

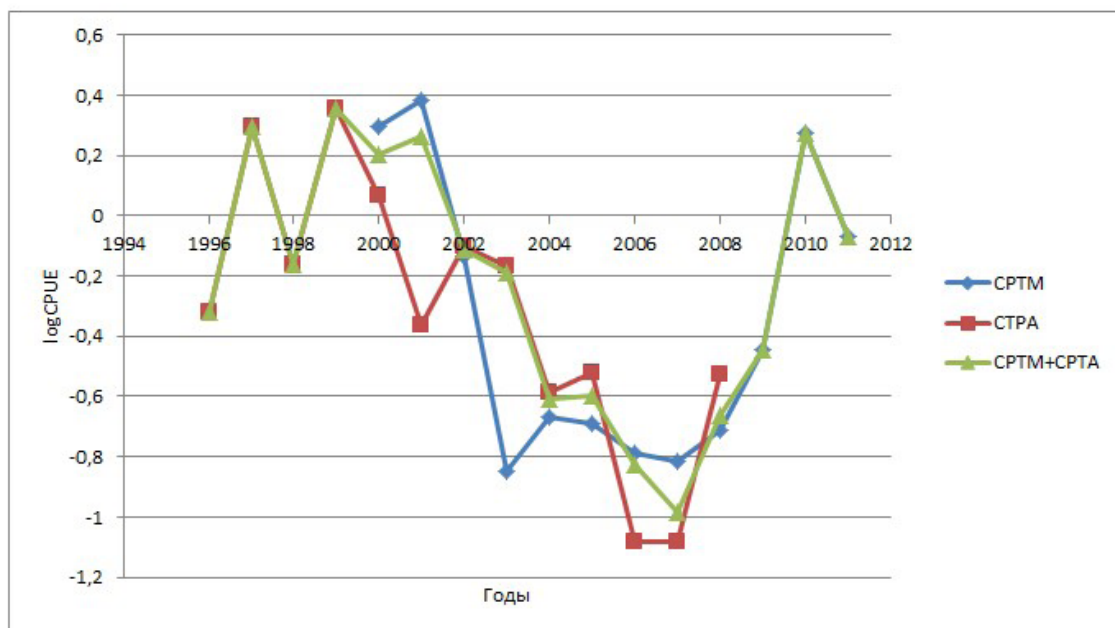


Рис. 3. Динамика производительности средних промысловых судов в логарифмическом масштабе (1996–2011 гг.).

Таблица 4. Логарифмические индексы производительности судов

Год	Н/СЕР-2	Н/СЕР-1	БМРТПТ	ПСТ-М	ПСТ-О	СРТМ	СТМ	СТРА
1996			0,016					-0,406
1997			0,498			0,470		0,116
1998			0,453	-1,108	-0,267		0,020	-0,328
1999		0,761		0,336			0,640	0,132
2000	2,113	-0,005		0,161		0,134	0,095	-0,127
2001	0,885	0,406				0,234	0,726	-0,577
2002		-0,601				-0,208	-0,686	-0,257
2003	0,431	-0,395				-1,036	-0,313	-0,349
2004	0,031	-0,094	-0,703	-1,586	-2,042	-0,756	-0,378	-0,677
2005	0,067		0,285		-3,143	-0,889	-0,482	-0,595
2006			-0,587			-0,999	-0,450	-1,153
2007			-1,292		-3,817	-0,857	0,409	-1,255
2008						-0,879	0,629	-0,669
2009						-0,565		
2010	0,335	-0,221		0,154		0,273		
2011	1,034			0,718		-0,181		
2012	0,636	-0,910		0,766	0,299			

Таблица 4. Окончание

Год	Н/СЕР-2	Н/СЕР-1	БМРТПТ	ПСТ-М	ПСТ-О	СРТМ	СТМ	СТРА
2013	0,753				-0,603			
2014	0,956				-0,222			
2015	0,857				-0,719			
2016	1,065							
2017	0,857				0,611			
2018	0,773							
2019	0,818				-0,943			
2020	0,677						-1,966	
2021	0,834							
2022	0,661							
2023	0,674							

Таблица 5. Логарифмические индексы производительности тралов

Год	SELSTAD444	Прочие	SELSTAD520	MORENOT520	Log CPUE
2010	0,335				0,721
2011	0,929	1,120			1,264
2012	0,389	0,701	0,874		0,952
2013	0,675	0,838	0,905		0,983
2014	0,826	1,196	1,003		1,081
2015	0,729	0,904	1,037		1,115
2016		0,973	1,119	1,399	1,198
2017			0,871	0,853	0,853
2018			0,723	0,796	0,796
2019			0,669	0,849	0,849
2020				0,737	0,737
2021				0,753	0,753
2022				0,661	0,661
2023				0,674	0,674
$\Delta \ln q$	-0,386	-0,144	-0,079	0,000	0,000
q	0,680	0,866	0,924	1	1

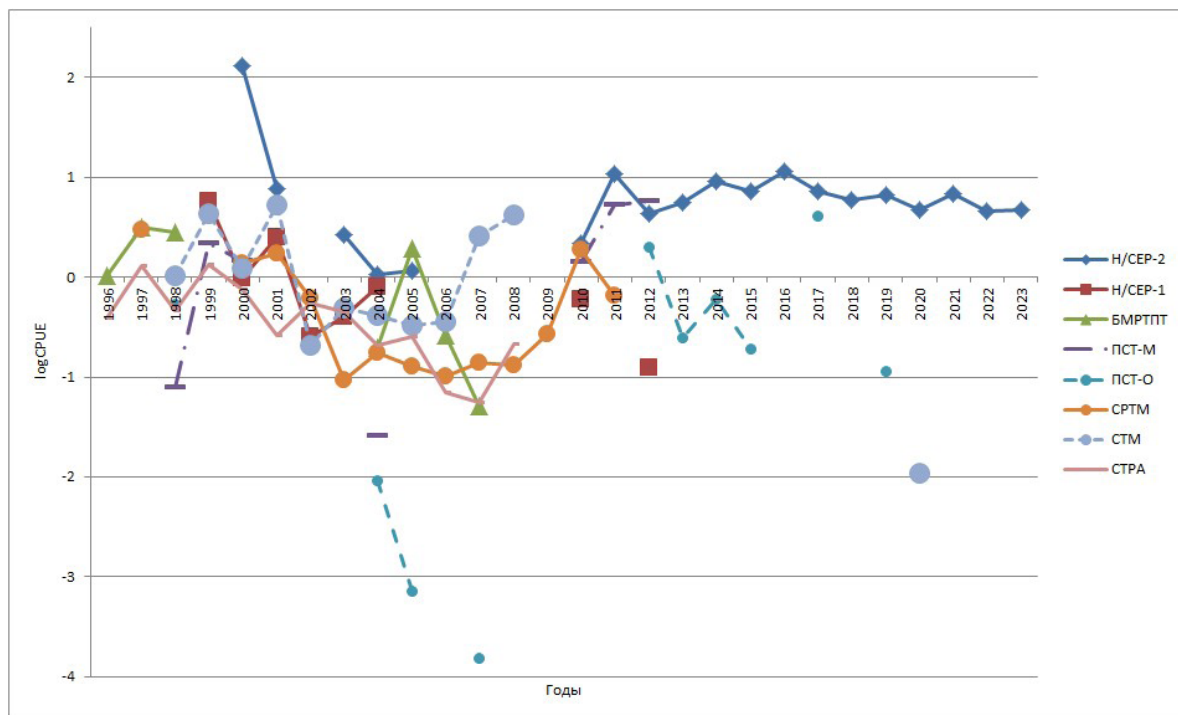


Рис. 4. Динамика производительности судов в логарифмическом масштабе (1996–2023 гг.).

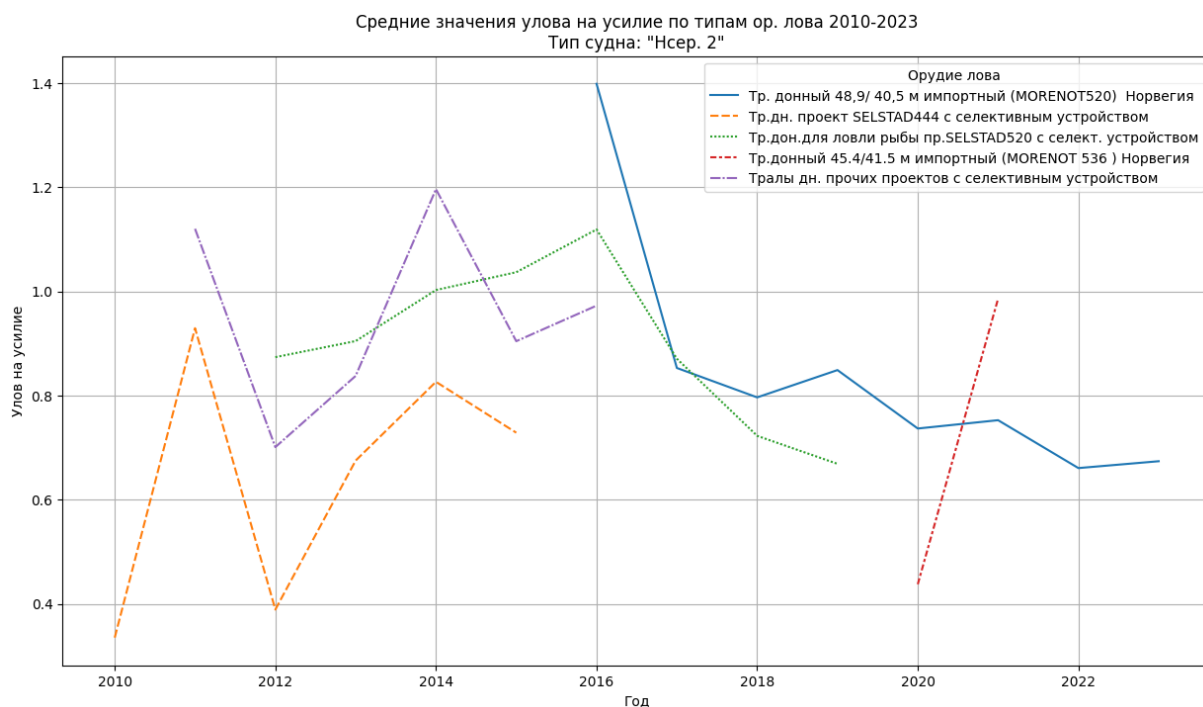


Рис. 5. Динамика производительности тралов в логарифмическом масштабе.

Итого производительность трала SELSTAD520 составляет 92,4% от производительности трала MORENOT520, производительность

тралов прочих проектов, не указанных явно в бортовых журналах – 86%, а производительность трала SELSTAD444 68%.

Таким образом, с 2010 г., когда промысел вёлся тралом SELSTAD444, по 2020 г., когда промысел окончательно стал осуществляться тралом MORENOT520, производительность орудий промысла выросла почти в полтора раза, что необходимо учитывать при расчёте индекса численности во избежание его неоправданного завышения. Результат перерасчёта логарифмического индекса численности по формуле (1) представлен в правой графе таблицы 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время регулирование промысла палтуса баренцевоморской популяции осуществляется на основе решений Совместной Российско-Норвежской Комиссии (СРНК). Для оценки состояния запаса черного палтуса норвежские исследователи используют модель GADGET (Globally Applicable Disaggregated General Ecosystem Toolbox), структурированную по длине рыбы и использующую размерный состав уловов и индексов съёмов (Howell, 2015).

Основой всех структурированных моделей популяции является уравнение экспоненциальной убыли численности поколения:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial a} = -ZN$$

$$Z = M + F$$

где $N(t, a)$ – численность популяции в момент времени t и в возрасте a ;

$Z(t, a)$ – общая смертность;

$M(t, a)$ – естественная смертность;

$F(t, a)$ – промысловая смертность.

Возрастной состав популяции не наблюдается непосредственно. Источником опосредованной информации выступают либо данные съёмов, либо возрастной состав уловов.

Индекс численности по съёмкам связан с возрастным составом популяции по формуле (2):

$$I(t, a) = q(a)N(t, a) \quad (2)$$

где $q(a)$ – возрастная селективность съёмов.

Возрастной состав уловов выражается через возрастной состав популяции и смертность с помощью уравнения улова Баранова:

$$C(t, a) = \frac{F(t, a)}{Z(t, a)} N(t, a) (1 - \exp(-Z(t, a)))$$

Следствием уравнения Баранова является рекуррентное соотношение на промысловую смертность:

$$\ln \frac{C(t+1, a+1)}{C(t, a)} = -Z(t, a) + \ln \frac{F(t+1, a+1)}{F(t, a)} - \ln \frac{Z(t+1, a+1)}{Z(t, a)} - \ln \frac{(1 - \exp(-Z(t+1, a+1)))}{(1 - \exp(-Z(t, a)))} \quad (3)$$

Левая часть (3) является наблюдаемой величиной, из которой вычисляется промысловая смертность.

Однако эта стандартная процедура виртуально-популяционного анализа неприменима, если возрастной состав уловов неизвестен. Инструментом пересчёта размерного состава в возрастную является уравнение Берталанфи:

$$1 - l/l_{\infty} = \exp(-(a - a_0 + W)/a_{\infty}),$$

где l_{∞} – предельный размер особи;

$1/a_{\infty}$ – коэффициент роста в уравнении Берталанфи;

a_0 – возраст в котором особи имеют нулевую длину;

$W \sim N(0, \sigma t^{1/2})$ – винеровский процесс с нормальным распределением, дисперсия которого зависит от времени.

Параметры уравнения Берталанфи определяются на основе статистики размерно-возрастного состава уловов. Однако если возрастной состав уловов неизвестен, возникает неопределённость.

Допустим, популяция находится в равновесном состоянии, и её возрастной состав определяется экспоненциальным распределением

$$N(a) = N(0) \exp(-Ma).$$

Тогда размерный состав будет описываться степенным законом

$$N(l) = N(0) \exp(Ma_0 \ln((l_\infty - l)/l_\infty)) = \\ = N(0) \left(\frac{l_\infty - l}{l_\infty} \right)^{Ma_0}.$$

Теперь сопоставим результаты оценки параметров возрастного и размерного состава запасов. В обоих случаях наблюдаемые данные аппроксимировались бы линейной регрессией (4) в случае возрастного и (5) в случае размерного состава:

$$\ln(N(a)/N(0)) = -Ma \quad (4),$$

$$\ln(N(l)/N(0)) = Ma_\infty \ln((l_\infty - l)/l_\infty) \quad (5).$$

Коэффициент регрессии для возрастного состава однозначно определяется смертностью – естественной для наблюдений девственного запаса и общей для облавливаемого. Коэффициент регрессии для размерного состава определяется комбинацией параметров – смертностью и продолжительностью жизни. Иными словами, наблюдаемый размерный состав долго живущих и медленно растущих видов может быть точно таким же, как у короткоживущих и быстро растущих видов. Именно это препятствует устойчивой работе моделей, ориентированных только на анализ размерного состава уловов без привлечения данных о возрасте, одной из разновидностей которых является GADGET.

В действительности последние реализации GADGET оперируют оценкой возраста с помощью размерно-возрастного ключа, а не реконструируют этот ключ из данных размерного состава уловов. Основные параметры модели приведены в таблице 6 (ICES, 2023).

Динамика запаса существенным образом определяется двумя факторами: пополнением и смертностью. Пополнение принято в GADGET постоянным на уровне 50 млн экз. в возрасте два года. Гипотеза о приближен-

ном постоянстве пополнения представляется достаточно правдоподобной в соответствии с моделью TISVPA. Параметры естественной смертности приняты различными для самок и самцов. Величины естественной смертности рассматриваются как константы модели, и являются скорее результатом конвенциональной оценки, чем результатом измерения. При этом принятое допущение о величине естественной смертности было пересмотрено в сторону повышения по сравнению с ранее использовавшимся для расчётов с помощью модели XSA, где $M=0,1 \text{ год}^{-1}$ (ICES, 2013). С другой стороны, повышение оценки естественной смертности не согласуется с пересмотром методики определения возраста, согласно результатам которой оценка темпов роста уменьшается, а оценка общей продолжительности жизни увеличивается, что, напротив, должно приводить к снижению оценки естественной смертности.

Заданные параметры популяционной динамики позволяют оценить оптимальный уровень улова на рекрута (Y/R), так как это сделано в нашей предыдущей работе (Булатов и др., 2024). В таблице 7 сопоставляются расчёты максимального улова на рекрута, абсолютной и относительной численности пополнения промыслового запаса в возрасте пяти лет и соответствующих значений максимального устойчивого улова.

Принятое в GADGET допущение о величине ежегодного пополнения в 50 млн экз. в возрасте два года при любых оценках естественной смертности ведёт к более оптимистичной оценке пополнения промыслового запаса в возрасте пяти лет по сравнению с оценкой TISVPA на уровне 25 млн экз. Однако при оценённой в TISVPA селективности промысла более высокий уровень смертности запаса ведет к более низкому уровню улова на рекрута. По литературным данным (Godo, Naug1, 1989) в популяции чёрного палтуса самцы существенно преобладают над самками, составляя до 70% в младших возрастах, что согласуется с составом уловов.

Таблица 6. Параметры модели GADGET

	l_{∞} , см	$1/a_{\infty}$, год ⁻¹	a_0 , год	M , год ⁻¹
Самки	70,720±0,149	0,107±0,001	-2.647±0.058	0,12
Самцы	56.066±0,129	0,161±0,002	-3.068 ±0.078	0,16

Таблица 7. Параметры популяционной динамики

	M (год ⁻¹)	Y/R (кг)	$N(5)/N(2)$	$N(5)$ млн экз. $N(2)=50$	MSY (тыс. т)
Вся популяция	0,1	1,25	0,74	37	46,25
Самки	0,12	1,07	0,7	35	37,4
Самцы	0,16	0,78	0,62	31	24,18
Вся популяция	$0,12 < M < 0,16$	0,87	0,644	32,2	28,15

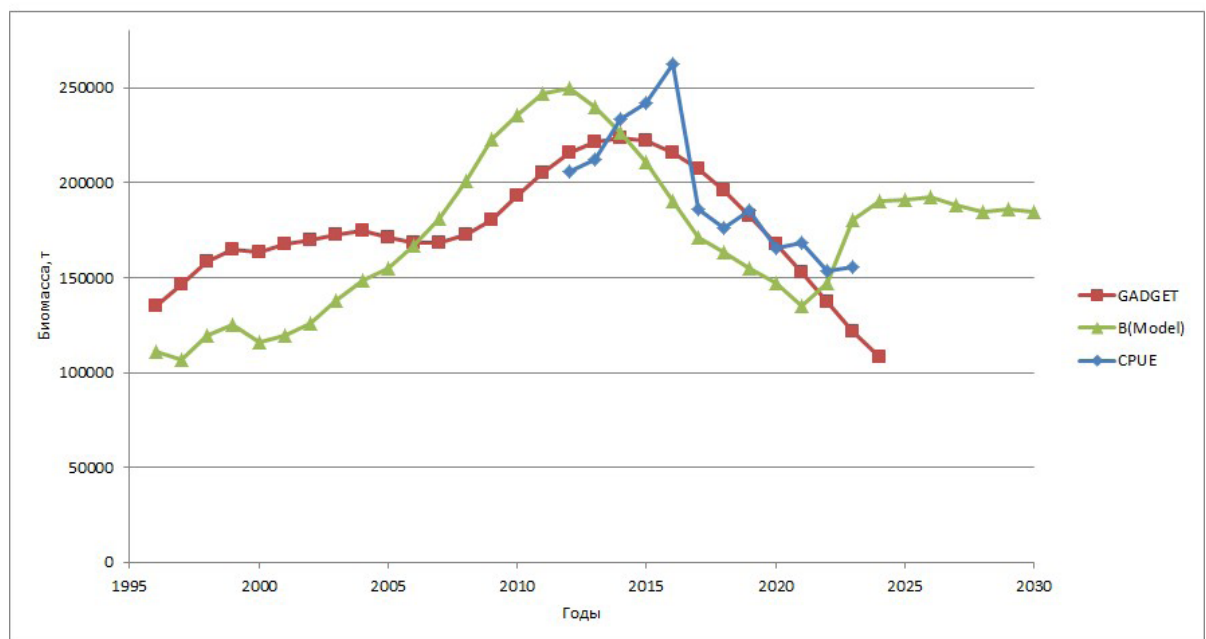


Рис. 6. Динамика биомассы промыслового запаса и прогноз до 2030 г.

Таким образом, с учётом более высокой и дифференцированной по полу смертности максимальный улов на рекрута снижается по сравнению с нашей прошлой оценкой с 1,25 до 0,87 кг, однако за счёт большей численности ежегодного пополнения оценка MSY сохра-

няется примерно на том же уровне 28 тыс. т, что на 10 тыс. т выше последних рекомендаций ИКЕС, основанных на той же самой модели.

Используя известные параметры модели и оценённые в GADGET значения пополнения

можно с помощью уравнений популяционной динамики рассчитать теоретические значения биомассы запаса (B(Model) на рис. 6), которые должны были бы быть при данном пополнении. Также на рисунке 6 представлены оценки биомассы по результатам GADGET (JRN-PINRO, 2024) и приведён улов на усилие отечественного флота, отмасштабированный на средние значения в период 2017–2022 гг.

Из рисунка 6 видно, что все три ряда данных имеют сходную динамику: тренд на повышение до середины 2010-х гг. и тренд на понижение после 2016 до 2022 г.. При этом теоретическая величина запаса, рассчитанная по пополнению, сдвинута на два года назад по сравнению с оценкой запаса той же моделью, что может означать некоторую внутреннюю несогласованность GADGET, предположительно обусловленную неопределённостью при пересчёте размера в возраст. С другой стороны, темпы снижения биомассы в 2017–2022 гг., оценённые моделью и рассчитанные по пополнению, различаются. В первом случае они составили 24% за пять лет, а во втором 17%, CPUE сократился на 14%. Прогноз динамики оказывается более проблематичным, чем её реконструкция в ретроспективе. Оценки пополнения за последние годы предсказывают изменение тренда в сторону роста, обусловленного многочисленными поколениями, и последующей стабилизации на уровне среднесноголетнего пополнения. Однако следует учесть возможную неопределённость в оценке пополнения в окрестности терминального года и в самой величине среднесноголетнего пополнения. Тем не менее, современный уровень эксплуатации запаса можно считать близким к оптимальному, а тренд умеренного снижения с пиковых значений 2016 г. рассматривать как релаксацию к уровню MSY.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За 60 лет истории промысла чёрного палтуса Баренцева моря отечественным фло-

том состав промыслового комплекса радикально поменялся три раза: на рубеже 1970–1980-х гг., в начале XXI в. и в начале 2010-х гг. В связи с этим ряды CPUE за четыре этапа развития промысла плохо согласуются между собой, в силу заранее неизвестного различия в масштабе. При этом в период наиболее драматического снижения запаса в 1970-е гг. качество информации минимально, поскольку спецификация орудия не фиксировалась в судовых журналах. Информация об орудиях промысла начинает заноситься в судовые журналы только после 2000 г., но при этом состав и вооружение флота значительно варьировали. И только в современный период сформировался достаточно однородный тип промыслового комплекса. Это позволило рассчитать относительно надёжный индекс численности, согласующийся с независимыми модельными оценками. Следует отметить, что основой методики построения индекса численности по промысловым данным является стандартизация, позволяющая исключить фактор возрастающей эффективности орудий лова при перевооружении флота, произошедшим за последние 10 лет. Современные технические средства позволяют непосредственно рассчитать объём воды, процеженного через трал, из данных геопозиционирования, и такое расширение статистики ССД могло бы обеспечить точную оценку локальной плотности популяции, исключая влияние особенностей промыслового комплекса.

За последние семь лет происходит медленное снижение запаса от локального максимума 2016 г. Тем не менее, текущая интенсивность промысла близка к уровню MSY, порядка 28 тыс. т по оценкам нескольких различных моделей, поэтому пока нет необходимости в резком сокращении общего допустимого улова. Для уточнения прогнозов на основе структурированных моделей необходимым условием является надёжный возрастной состав уловов, поскольку оценки моделей, структурированных по размеру, содержат

неопределённости, а продукционные модели не вполне корректно применять к долгоживущим видам.

Таким образом, для реализации принципов ответственного рыболовства применительно к запасу чёрного палтуса Баренцева моря необходимо продолжить работу над повышением качества информационного обеспечения прогнозов с учётом выявленных в данной работе основных источников неопределённости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булатов О.А., Русских А.А., Михайлов А.И., Васильев Д.А. Состояние запасов и управление промыслом чёрного палтуса Баренцева моря // *Вопр. рыболовства*. 2024. Т. 24. № 2. С. 7–27.

Михайлов А.И. Математические аспекты стандартизации уловов на усилие. // *Вопр. рыболовства*. 2015. Т. 16. № 4. С. 489–496.

Смирнов О.В. Чёрный палтус норвежско-баренцевоморской популяции. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006. 113 с.

Godo O.R. Haugl T. A review of the natural history, fisheries, and management of Greenland halibut (*Reinhardtus hippoglossoides*) in the eastern Norwegian and Barents Seas // *J. Cons. int. Explor. Mer*, 1989. V. 46: 6246: 62–75.

Howell D. Gadget stock assessment of Greenland halibut. IBP Hali., 2015. WD2. 5 p.

ICES. 2013. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG), 18 - 24 April 2013, ICES Headquarters, Copenhagen. ICES CM 2013/ACOM:05. 726 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.19281716>.

ICES. 2023. Benchmark workshop on Greenland halibut and redfish stocks (WKBNORTH). ICES Scientific Reports. 2023. 5:33. 408 p. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.22304638>.

JRN-AFWG. 2024. Advice on fishing opportunities for Greenland halibut in 2025 and 2026 in ICES subareas 1 and 2. 2024. 16 p. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/imr-pinro-en-2024-5>.

**GREENLAND HALIBUT OF THE BARENTS SEA:
POPULATION DYNAMICS AND FISHING
PRODUCTIVITY FACTORS**

© 2025 г. А.И. Михайлов¹, В.А. Крычков¹, А.А. Русских², А.Е. Бобырев^{1,3}

1 – State Scientific Center of the «VNIRO», Russia, Moscow, 105187,

*2 – Polar Department of State Scientific Center of the «VNIRO»,
Russia, Murmansk 183038*

3 – Institute of Ecology and Evolution, RAS, Russia, Moscow, 119071

The paper considers the history of the Russian fishery of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) from the Barents Sea from the mid-1960s to the present. Based on the statistical analysis of the database of ship's daily reports, the series of abundance indices at various stages of fishing development are reconstructed. The efficiency of various fishing complexes is compared and the catch is adjusted for effort, taking into account the productivity growth factor. The problems of applying size-structured models of population dynamics to the assessment of the stock status of Greenland halibut are discussed. It is shown that the current state of halibut stocks allows for the harvest of up to 28 thousand tons without damage to the reproduction of the population.

Keywords: stock assessment, Greenland halibut, CPUE.