

УДК 595.384.2: 639.2.055(268.45)

**Оценка правила регулирования промысла камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в российских водах Баренцева моря***С.В.Баканев*

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ПИНРО»), г. Мурманск  
e-mail: [bakanev@pinro.ru](mailto:bakanev@pinro.ru)

С помощью имитационной версии модели CSA (catch survey analysis) выполнен анализ правила регулирования промысла (ПРП) камчатского краба в Баренцевом море и его компонентов: целевого уровня эксплуатации, ориентиров управления по биомассе и максимальной межгодовой изменчивости возможного вылова. Установлено, что используемое ПРП камчатского краба в Баренцевом море согласуется с принципами предосторожного подхода. Благодаря выбранному сравнительно низкому целевому уровню изъятия, использование в расчётах различных вариантов пополнения и величин ошибки оценки запаса не увеличивает риск снижения промыслового запаса ниже граничного ориентира. В соответствии с расчётами имитационной модели, существенное повышение целевого уровня эксплуатации не приводит к значительному росту ежегодного вылова. В то же время, при этом возрастает риск снижения запаса ниже целевого ориентира. Анализ целесообразности использования различных элементов ПРП показал, что при целевом уровне изъятия до 0,2 приемлем однозональный принцип регулирования, когда рекомендуемое промысловое изъятие не зависит от состояния запаса. В тоже время, учитывая возможность высокой ошибки оценки запаса, дополнительные элементы ПРП (ориентиры управления по биомассе и межгодовое ограничение общего допустимого улова) могут снизить риск перелова и существенно уменьшить межгодовую изменчивость вылова.

**Ключевые слова:** камчатский краб, Баренцево море, правило регулирования промысла.

**ВВЕДЕНИЕ**

Управление запасом камчатского краба в Баренцевом море, до недавнего времени выполнялось без использования формализованных стратегий, правил и ориентиров управления. По существу, вся стратегия управления промыслом сводилась к предотвращению перелова с помощью общего допустимого улова (ОДУ) и ограничения пространственно-временных рамок промысла. В 2015 г. в целях обеспечения прозрачности и точности опре-

деления ОДУ, а также повышения эффективности управления ресурсом, по поручению Росрыболовства был разработан документ «Правила регулирования промысла приоритетных видов крабов и крабоидов» под редакцией В.А.Бизикова (ФГБНУ «ВНИРО»), утвержденный на заседании Совета директоров рыбохозяйственных институтов при заместителе Министра сельского хозяйства Российской Федерации — руководителе Федерального агентства по рыболовству (Протокол от

30 июня 2016 г. № 8). В основу документа были положены основные принципы управления, которые более 20 лет используются в международной практике при эксплуатации запасов рыб. При разработке правил учитывались основные компоненты регулирования промысла: уровень информационной обеспеченности управления и оценки запасов, фактический и целевой уровни промыслового изъятия, возможность ограничения межгодовой вариации ОДУ, индикаторные подходы к регулированию и др.

6 февраля 2015 г. был издан приказ Федерального агентства по рыболовству № 104 о предоставлении материалов, обосновывающих общие допустимые уловы водных биологических ресурсов, согласно которому разработка новых ПРП должна сопровождаться их обоснованием и диагностикой, которая выполняется на основе оценки и анализа вероятностей нежелательных для запаса и промысла событий (рисков). В соответствии с приказом Росрыболовства для обеспечения рационального промысла необходимо исследовать реакцию запаса на различные варианты управления. Для этого требуется оценить возможные последствия управления при разных ПРП, в том числе и однозональных, когда рекомендуемая промысловая смертность не зависит от состояния запаса, а фиксируется на одном из заданных уровней промысловой смертности. Полученные в результате прогнозные характеристики состояния запаса (биомассу, промысловую смертность и ожидаемый вылов) следует сопоставить с их текущими и историческими значениями.

В течение 2015 г. в ПИНРО в рамках предложенной новой концепции стратегии регулирования промысла крабов и крабоидов были разработаны подходы к оценке новых элементов управления баренцевоморским запасом камчатского краба: ориентиров управления, ограничения межгодового изменения ОДУ, оптимального промыслового размера и др. [Баканев, Ковалев, 2015; Баканев, 2016].

В настоящей работе приведены краткие результаты оценки новой стратегии управления запасом камчатского краба в Баренцевом море, а также рассматривается целесообразность ис-

пользования отдельных её элементов с точки зрения обеспечения устойчивого развития промысла.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для диагностики ПРП послужили результаты оценки состояния запаса камчатского краба в 1994–2015 гг., выполненные с помощью стохастической модели CSA [catch survey analysis; Zheng et. al. 1997 a; Mesnil, 2003; Баканев, 2008; 2014]. В качестве входных данных при моделировании динамики запаса использовались индексы численности краба, полученные по данным траловых съёмок 1994–2012 гг., стандартизированный улов на усилие в ходе промысловых сезонов 2007–2015 гг., средний улов промысловых самцов на ловушку по результатам прибрежных ловушечных съёмок 2009–2015 гг., а также величины промыслового запаса на акватории промысла в 2007–2015 гг., рассчитанные по модели истощения Лесли [Баканев, 2015]. Объем вылова вычислялся по ежесуточным донесениям, поступающим со всех промысловых судов в Центр системы мониторинга рыболовства и связи.

Моделируемая динамика численности описывалась через два основных уравнения:

$$R_{t+1} = \rho R_t \times m\rho \times G_{\rho R, R} \times e^{-M};$$

$$\rho_{t+1} = (\rho_t + R_t + \rho R_t \times m\rho \times G_{\rho R, \rho}) \times e^{-M} - C_t \times e^{-M},$$

где  $\rho R$  — численность пререкрутов (самцов с шириной карапакса 129–149 мм),  $R$  — рекрутов (самцов на 1–2 стадии линьки с шириной карапакса 150–171 мм) и  $\rho$  — пострекрутов (самцов на 1–2-й стадиях линьки с шириной карапакса более 171 мм и самцов на 3–4-й стадиях линьки с шириной карапакса 150 мм и более);  $m\rho$  — вероятность линьки для пререкрутов;  $G_{\rho R, R}$ ,  $G_{\rho R, \rho}$  — величины, рассчитанные по матрице роста, соответствующие доле крабов, которые переходят из группы  $\rho R$  в группы  $R$  и  $\rho$ ;  $M$  — коэффициент естественной смертности;  $C$  — вылов крабов. Настройка модели на фактические данные осуществлялась в рамках стохастического байе-

совского подхода в программе OpenBUGS [Баканев, 2008, 2014].

Оценка правила регулирования промысла камчатского краба выполнена в рамках модели CSA, описанной выше и реализованной в MS Excel как имитационная модель динамики биомассы промыслового запаса ( $B$ ) камчатского краба, состоящего из двух групп (рекрутов и пострекрутов). Стартовым годом имитационной модели был принят последний год в модели оценки запаса — 2015 г. Численность размерных групп и параметры модели указаны в табл. 1.

**Таблица 1.** Медианные значения параметров, численность размерных групп, промысловый запас ( $B_{2015}$ ) камчатского краба Баренцева моря в 2015 г. по модели CSA

Параметр	Значение
$M$	0,1
$m\rho$	0,95
$G_{PR,R}$	0,9
$G_{PR,P}$	0,1
$PR_{2015}$ (тыс. экз.)	4709
$R_{2015}$ (тыс. экз.)	1426
$P_{2015}$ (тыс. экз.)	23094
$B_{2015}$ (т)	90723

Для моделирования параметров ошибки оценки запаса по стохастической версии модели CSA были оценены доверительные интервалы численности промысловой части популяции в 1994–2015 гг. Диапазон доверительного интервала существенно варьировал на всем историческом периоде. Поэтому для оценки ПРП использовалось несколько вариантов мультиплекативной ошибки оценки запаса, которая имитировалась как случайная величина, имеющая нормальное распределение со средним 1 и заданным стандартным отклонением от 0 до 0,4 с шагом 0,1.

По причине отсутствия данных о функциональной зависимости «запас—пополнение» пополнение промыслового запаса имитировалось на основе его оценок, рассчитанных с помощью модели CSA в 2006–2015 гг. В имитационной модели анализировались три различных варианта пополнения промыслового запаса:

1) Постоянное пополнение для всего моделируемого периода и равное среднему, оценённому за период 2006–2015 гг.;

2) Случайное пополнение, выбранное методом бутстреп из ряда величин, также оценённых по модели CSA за период 2006–2015 гг.;

3) Переменное пополнение, имитирующее наблюдённую квазипериодическую динамику за последние 10 лет, когда в течение первых пяти лет пополнение было ниже среднего (вначале снижающиеся, затем возрастающие), затем в течение следующих пяти лет пополнение выше среднего (плавно возрастающие и затем убывающие). Наблюдаемая динамика была сглажена методом плавающей средней и использовалась в имитационной модели простым повторением этого 10-летнего ряда.

Оценка ПРП в имитационной модели выполнена с 2050 г. по 2150 г., с шагом один год. Учитывая, что при моделировании учитывались ошибки оценки запаса (имитирующиеся как случайная величина на каждом шаге модели), расчёты выполнялись многократно для получения устойчивых средних значений (100 итераций). При этом анализируемые характеристики популяции усреднялись для последних 100 лет для исключения влияния на результат стартовых значений. Для каждого анализируемого показателя (численность, биомасса, вылов, пополнение) рассчитывались 5%, 50% и 95% процентили.

В качестве базового ПРП было принято предложенное в 2015 г. для практического применения правило в следующей формулировке.

1) Целевой уровень эксплуатации (доля изъятия;  $E_{tr}$ ) не более 0,17 при промысловом запасе выше целевого ориентира по биомассе ( $B_{tr}=63$  тыс. т).

2) При промысловом запасе выше граничного ориентира ( $B_{lim}=19$  тыс. т), но ниже целевого  $E_t=E_{tr} \times (B_t - B_{lim}) / (B_{tr} - B_{lim})$ .

3) При промысловом запасе ниже граничного ориентира  $E_t=0$  (возможен промысел в научных целях).

4) ОДУ может изменяться не более чем на величину  $\pm 30\%$  от уровня ОДУ предыдущего года, при условии, что промысловый запас находится на уровне выше граничного ориентира.

Критерием предосторожности ПРП принято условие, что вероятность (риск) снижения биомассы промыслового запаса ниже ориентира управления  $B_{lim}$  не должна превышать 5% (по аналогии с общепринятыми в мировой и отечественной практике подходами к управлению) [Бабаян, 2000].

Диагностика ПРП включала в себя несколько этапов. На первом этапе расчёт выполнялся с применением текущего ПРП и различных вариантов пополнения и ошибки оценки запаса, для тестирования модели на чувствительность результатов к этим параметрам. Второй этап включал в себя выбор наиболее правдоподобного варианта пополнения и ошибки, а затем рассчитывалась динамика запаса с различным целевым уровнем эксплуатации. На основании результатов расчётов делался вывод об оптимальном уровне изъятия и обоснованности целевого ориентира по эксплуатации текущего ПРП. Третий этап диагностики включал в себя расчёты, при которых исследовалась реакция запаса на различные варианты управления. При этом рассматривалось два сценария: 1) уровень эксплуатации не зависит от уровня промыслового запаса (отсутствуют ориентиры по биомассе); 2) отсутствует межгодовое ограничение на рост и снижение ОДУ. Кроме того, дополнительно рассчитывалось несколько альтернативных

вариантов межгодового ограничения ОДУ: 10, 20, 30, 40 и 100%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ моделируемой динамики промыслового запаса с применением текущего ПРП при различных вариантах пополнения и ошибки запаса показал, что медианные значения расчётных показателей существенно не отличаются (табл. 2). При возрастании ошибки оценки запаса, а также использовании пополнения, выбранного случайным образом, закономерно увеличивается межгодовая изменчивость вылова и промыслового запаса.

Все варианты расчёта показали, что риск снижения промыслового запаса ниже граничного ориентира  $B_{lim}$  равен нулю. При пополнении запаса, имитируемом как случайная величина, а также при квазициклическом пополнении весьма высок риск снижения запаса ниже  $B_{tr}$ . Однако этот показатель не является критичным, т. к. среднемноголетний уровень запаса остаётся весьма высоким и в рамках существующей концепции текущее ПРП может считаться предосторожным.

При квазициклическом пополнении и увеличении ошибки оценки запаса наблюдается незначительное увеличение среднемноголетней величины промыслового запаса и уменьшение риска снижения промыслового запаса ниже

**Таблица 2.** Результаты тестирования ПРП камчатского краба Баренцева моря при различных вариантах пополнения запаса и ошибки его оценки (при уровне изъятия 0,17)

Показатель / тип пополнения*	Среднее	Случайное	Квазициклическое (имитирующее пополнение последних 10 лет)				
			0	0,1	0,2	0,3	0,4
Ошибка оценки запаса (задаваемый параметр)	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4
Среднегодовой вылов (т)	11216	10778	11884	11730	11545	11428	11309
Среднегодовая изменчивость вылова, %	0,5	16,7	15,3	19,9	23,2	25,2	32,4
Верхняя граница 95% доверительного интервала промыслового запаса (т)	65976	108707	94440	101261	106500	110191	112402
Медиана промыслового запаса (т)	65975	69485	72770	74382	76083	77673	78423
Нижняя граница 95% доверительного интервала промыслового запаса (т)	65975	45072	54662	52784	50870	48807	50290
Медиана пополнения (тыс. экз.)	5187	5135	5584	5584	5584	5584	5584
Риск $B < B_{tr}$ (%)	0	42	41	37	32	27	26
Риск $B < B_{lim}$ (%)	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. \* — см. пояснения в разделе «Материал и методика», В — биомасса в любом году моделируемого периода

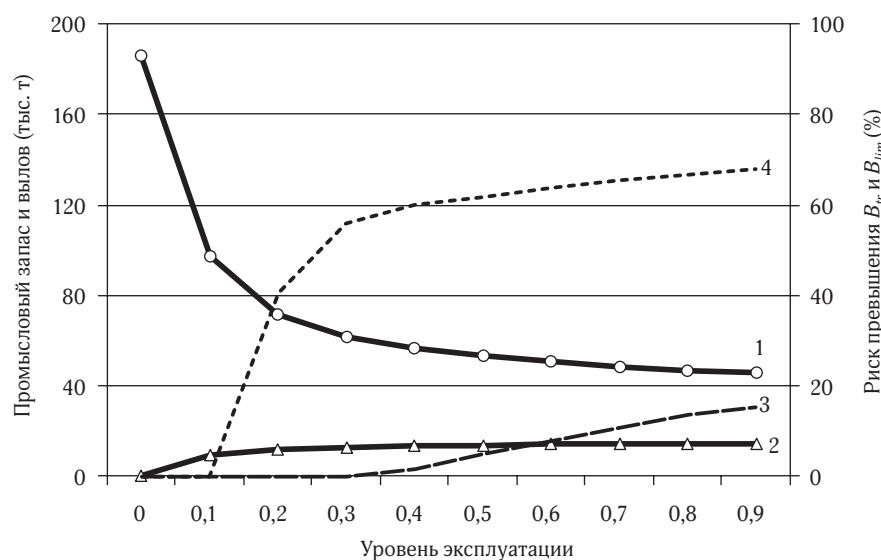
$B_{tr}$ . Такое явление наблюдается в силу увеличения доли лет, когда применялось правило 30 % ограничения снижения или увеличения вылова. При увеличении изменчивости оценки промыслового запаса начинает чаще срабатывать вышеуказанное правило, ограничивая потенциальный вылов, что в среднем приводит к увеличению промыслового запаса и, соответственно, снижению рисков оказаться ниже  $B_{tr}$ .

Как указывалось выше, различные допущения о типе пополнения и величине ошибки оценки не влияют существенно на среднемноголетние медианные показатели вылова и промыслового запаса. В дальнейших расчётах использовалось квазициклическое пополнение как наиболее правдоподобное и ошибка оценки запаса, равная 0,2. Данный выбор был сделан на основе анализа пополнения запаса и размаха доверительных интервалов, полученных в ходе оценки запаса в 1994–2015 гг.

Моделирование динамики запаса при различных уровнях эксплуатации показало, что выбор целевого ориентира  $E_{tr}=0,17$  (уровень изъятия 17 % от промыслового запаса) является предосторожным и обеспечивает вылов, близкий к максимальному. Повышение уровня изъятия не ведёт к существенному увеличению среднемноголетнего вылова, но ощутимо увеличивает риски снижения промыслового запаса ниже ориентира  $B_{tr}$  (рис. 1).

Анализ общих тенденций в динамике показателей показал, что по формальным признакам уровень эксплуатации ниже 0,5 является предосторожным, т. к. вероятность снижения запаса ниже  $B_{lim}$  не превышает 5 %. Однако, эксплуатация на максимально допустимом уровне ( $E_{tr}=0,5$ ) снижает промысловый запас в два раза по сравнению с эксплуатацией на рекомендованном уровне ( $E_{tr}=0,17$ ), при этом среднемноголетний вылов увеличивается несущественно (с 12 до 14 тыс. т). Учитывая большие неопределённости в оценке запаса и низкий уровень информационной обеспеченности, увеличение  $E_{tr}$  выше рекомендованного в настоящее время выглядит неоправданным. Кроме того, при увеличении степени эксплуатации с 0,1 до 0,3 существенно возрастает риск снижения запаса ниже целевого ориентира  $B_{tr}$ . Наиболее резкое увеличение риска происходит при изменении  $E_{tr}$ , в диапазоне от 0,1 до 0,2 (табл. 3). При возрастании уровня промыслового изъятия в два раза среднемноголетний вылов увеличивается на 30 %, а промысловый запас снижается на четверть.

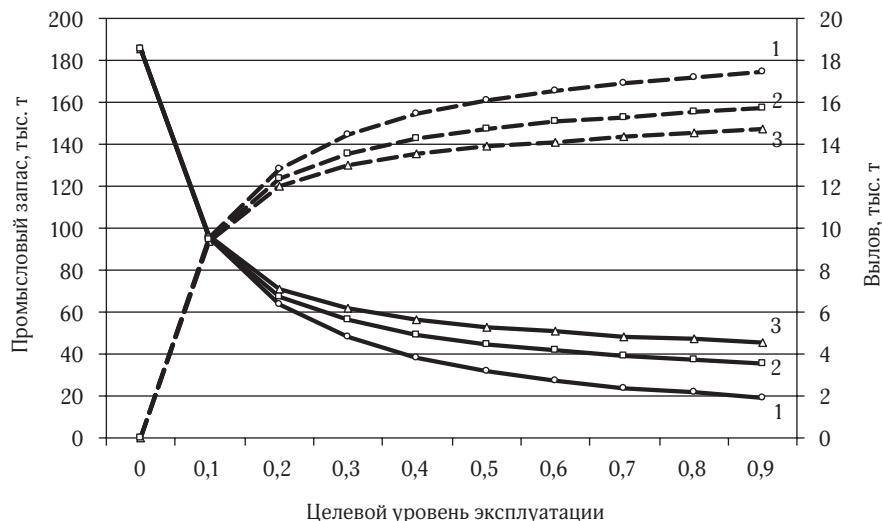
Анализ целесообразности использования различных элементов ПРП показал, что при целевом уровне изъятия 0,17 различия в величинах среднегодового вылова и промыслового запаса малы и составляют менее 3 %. При увеличении целевого уровня эксплуатации свыше



**Рис. 1.** Зависимость медианных величин промыслового запаса (1) и вылова (2), а также риска (%) превышения  $B_{lim}$  (3) и  $B_{tr}$  (4) от уровня эксплуатации (доли изъятия от величины промыслового запаса)

**Таблица 3.** Результаты тестирования ПРП камчатского краба Баренцева моря при изменении уровня эксплуатации от 0,1 до 0,2

Уровень эксплуатации ( $E_{tr}$ )	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Среднегодовой вылов (т)	9386	9823	10209	10553	10886	11123	11359	11573	11754	11882
Медиана промыслового запаса (т)	96901	92743	88812	85735	82569	80331	77837	75749	74263	72547
Риск $B_t < B_{tr}$ (%)	0,00	0,00	0,47	3,63	11,83	19,10	26,94	32,94	35,92	38,69



**Рис. 2.** Зависимость медианных величин промыслового запаса (сплошные линии) и вылова (пунктирные линии) от разного целевого уровня эксплуатации при трех вариантах ПРП: однозональный подход (1); при текущем ПРП без межгодового ограничения (2) и с ограничением вылова (3), см. пояснения в тексте

0,2 вариативность в показателях начинает проявляться нагляднее (рис. 2). Наиболее консервативный сценарий (высокий запас при низком вылове) показывает расчёт с учётом всех рассматриваемых элементов правил регулирования. При отсутствии межгодовых ограничений вылова среднегодовой вылов может увеличиться от 3 до 7% и, соответственно, промысловый запас будет несколько ниже.

При однозональном подходе регулирования вылова, когда степень эксплуатации не зависит от уровня запаса и ориентиры по биомассе отсутствуют, среднегодовой вылов находится на максимальном уровне, тогда как промысловый запас снижается до минимальных значений.

Таким образом, использование ориентиров по биомассе и межгодовое ограничение вылова наиболее выраженно проявляется при увеличении промыслового пресса. В то же время ситу-

ация с высокой степенью эксплуатации может возникнуть не только при намеренном увеличении целевой эксплуатации, но и в случаях высокой ошибки оценки запаса, которая зачастую ведёт к чрезмерной промысловой нагрузке. В случаях переоценки или существенной недооценки ограничение межгодового вылова будет способствовать более эффективному и предсторожному управлению запасом.

Оценка динамики величины запаса и вылова при различных вариантах ограничения межгодового вылова показала, что медианные значения вылова и промыслового запаса остаются практически без изменений (табл. 4). В то же время, при увеличении величины максимальной изменчивости возможного ОДУ с 10 до 100% закономерно увеличивается среднемноголетняя изменчивость вылова и уменьшается доля лет, когда возникает необходимость ограничения на рост или снижение ОДУ.

**Таблица 4.** Результаты тестирования ПРП камчатского краба Баренцева моря при разных уровнях межгодового ограничения вылова

Межгодовое ограничение ОДУ, %	Медиана пром. запаса (тыс.т)	Медиана вылова (тыс. т)	Среднегодовая изменчивость вылова, %	Доля лет (%) когда применялось ограничение на	
				рост ОДУ	снижение ОДУ
нет	73,5	11,8	49	—	—
10	74,2	11,8	9	43	39
20	75,5	11,6	17	37	29
30	75,9	11,6	23	32	21
40	76,0	11,5	29	27	14
50	75,9	11,6	34	24	9
100	75,1	11,7	47	12	0

## ОБСУЖДЕНИЕ

Основная сложность тестирования ПРП для баренцевоморского запаса камчатского краба заключается в недостаточном уровне информационного обеспечения оценки запаса. Существующий уровень ограничивает возможность использования общепринятых инструментов оценки запаса и диагностики ПРП, таких как, например, структурированные когортные модели, основанные на размерных группах [Cooke, 1999; Siddeek, Zheng, 2007]. Средний уровень информационной обеспеченности обусловлен как недавним происхождением популяции и короткой историей её эксплуатации, так и меняющимся уровнем исследований в последние годы (прекращение исследовательских съёмок с 2012 г.).

Кроме того, особенности биологии и промысла крабов и крабоидов накладывают определённые ограничения в выборе методов и вынуждают отходить от алгоритмов, традиционно используемых при оценке запасов рыб. Например, в международной и отечественной практике для оценки запасов крабов весьма широко распространены модели и формулы расчёта величины запаса без использования мгновенных коэффициентов промысловой смертности [Иванов, 2004; Zeng et al., 1995; Zheng et al., 1997a, Smith, Addison, 2003]. Вместо этого, в алгоритмах используется прямой вылов (C).

Другой особенностью оценки запаса камчатского краба баренцевоморской популяции является невозможность использования оце-

нок нерестового запаса — ключевого параметра для определения статуса запаса и выбора ориентиров управления. Величина нерестовой биомассы достаточно часто является базовым показателем при управлении запасами рыб и беспозвоночных как параметр определяющий численность пополнения запаса [Siddeek, Zheng, 2007; Zheng et al., 1997b, ICES, 2016]. Данный показатель используется не только для расчёта целевых и граничных ориентиров по биомассе, но и для прогноза пополнения при диагностике ПРП. В случае с баренцевоморской популяцией ввиду низкой облавливаемости самок и молоди в ходе научно-исследовательских съёмок и промысла оценить параметры нерестового запаса и её связь с пополнением в настоящее время не представляется возможным [Баканев, 2014]. С учётом этого, при оценке ПРП делалось допущение, что величина пополнения не зависит от величины промыслового запаса. Правдоподобность такого допущения может быть частично обоснована правилами добычи камчатского краба, которые разрешают изъятие только самцов с размерами выше 150 мм по ширине карапакса. Такая эксплуатация предполагает, что для благополучного существования популяции необходимо дать самцам поучаствовать в нересте минимум два раза до начала их промысла. Таким образом, даже при чрезмерной эксплуатации в рамках правил добычи предполагается, что нерестовый запас может сохраняться на достаточном уровне за счёт половозрелых самок и половозрелых непромысловых самцов.

Кроме того, для некоторых эксплуатируемых популяций установлено, что чёткая связь запас-пополнение наблюдается лишь при невысоких величинах нерестовой биомассы, тогда как при нерестовом запасе выше  $B_{lim}$  такая связь статистически не наблюдается, что учитывается при оценке ориентиров управления и ПРП [ICES, 2003; 2016].

Динамика искусственно созданного запаса в совокупности с коротким рядом наблюдений и весьма непродолжительной эксплуатацией вносят существенные помехи в оценку параметров запаса и затрудняют выявления закономерностей его динамики. Рост промыслового запаса и его активная эксплуатация происходили, главным образом, благодаря двум высокоурожайным поколениям. Первое поколение вступило в промысловый запас в 2003–2005 гг., увеличив в разы его численность и позволив открыть широкомасштабный промысел. Впоследствии чрезмерная промысловая нагрузка (значительно выше  $E_{tr}$ ) снизила промысловую биомассу; величина запаса с 2007 г. опустилась ниже  $B_{tr}$ , приблизившись в 2009–2010 гг. к  $B_{lim}$ . Второе высокоурожайное поколение начало пополнять промысловый запас с 2012 г., компенсируя значительную промысловую убыль, и в настоящее время самцы этого поколения являются основой промыслового стада, обеспечив рекордные величины биомассы запаса (рис. 3).

По существу, эти два пополнения обусловили весь характер соотношений системы «запас-промышсел», что дало представление о производственных свойствах популяции. На основе анализа уровня эксплуатации и величины запаса в период перелова 2008–2012 гг. и умеренной эксплуатации, при которой запас возрос до максимальных величин (2014–2015 гг.) были выбраны ориентиры управления по биомассе и промыслу. Столь короткий ряд наблюдений и неопределённость в оценке вероятностей появления очередных высокоурожайных пополнений заставляет с осторожностью и определённой долей консерватизма подходить к оценке ориентиров. В условиях высокой неопределенности стратегия максимизации вылова выглядит менее оправдано и реалистично, чем подход на основе принципа разумной достаточности, когда целевой уровень эксплуатации основан не на расчётных модельных величинах, а на предыдущем опыте успешной эксплуатации. Переход к целевому уровню эксплуатации может быть сделан при увеличении уровня информационной обеспеченности, при получении более точных оценок пополнения и промыслового запаса, позволяющих повысить достоверность модельного анализа влияния ПРП.

Повышение уровня эксплуатации станет более безопасным в случае появления новых высокоурожайных поколений, которые могут быть оценены заблаговременно только при проведении научно-исследовательских съёмок. Отсутствие исследовательских съёмок при оценке промыслового запаса и его пополнения ограничивает способность моделей в выпол-

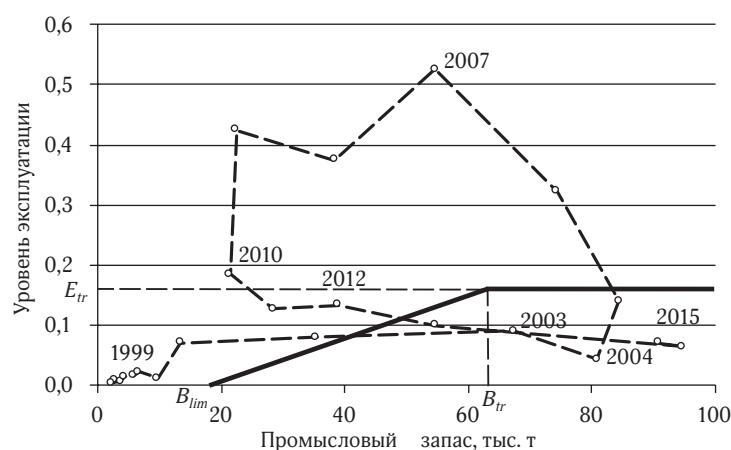


Рис. 3. Ежегодное соотношение биомассы ( $B_t$ ) промыслового запаса к ежегодному уровню эксплуатации ( $E_t$ ) в 1994–2015 гг. и текущие ориентиры управления для запаса камчатского краба в Баренцевом море

нении прогноза и расчёта ОДУ. Фактически прогноз динамики промыслового запаса при отсутствии предикторов может строиться лишь на статистических оценках пополнения за прошлые годы. Так, в текущей практике управления рассчитываются различные варианты пополнения и, в соответствии с ПРП, оцениваются варианты возможного вылова. Однако такой алгоритм не будет обеспечивать необходимые объективность, прозрачность и точность определения ОДУ. Решением данной проблемы может стать отказ от использования модели оценки CSA и переход к более простой продукционной модели, в которой пополнение запаса не оценивается по входным данным, а рассчитывается как функция от текущей величины запаса, ёмкости среды и коэффициента мгновенного популяционного роста. Такой подход обеспечит однозначность оценки возможного вылова, но не увеличит её точность в силу весьма слабой прогностической способности продукционной модели.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание существующий средний уровень информационной обеспеченности, аналитическая оценка ПРП камчатского краба в Баренцевом море может быть выполнена, хотя и с учётом существенных допущений из-за отсутствия исследовательских съёмок в последние годы. Результаты имитационного моделирования показали, что предложенное в 2015 г. ПРП камчатского краба в Баренцевом море соответствует предосторожному подходу. Благодаря выбранному сравнительно низкому целевому уровню изъятия, использование в расчётах различных вариантов пополнения и величин ошибки оценки запаса не увеличивает риск снижения промыслового запаса ниже  $B_{lim}$ . В соответствии с расчётами имитационной модели, существенное повышение целевого уровня эксплуатации не приводит к значительному росту ежегодного вылова. В то же время, при этом возрастает риск снижения запаса ниже целевого ориентира  $B_{tr}$ . Наиболее резкое увеличение риска происходит при возрастании  $E_{tr}$  в диапазоне от 0,1 до 0,2.

Модельный анализ целесообразности использования различных элементов ПРП по-

казал, что при целевом уровне изъятия до величины 0,2 приемлем однозональный принцип регулирования, когда рекомендуемое промысловое изъятие не зависит от состояния запаса, а фиксируется на одном из заданных уровней. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что дополнительные элементы ПРП (ориентиры управления по биомассе и межгодовое ограничение ОДУ) снижают риск перелова и существенно уменьшают межгодовую изменчивость вылова.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: Изд—во ВНИРО. 192 с.
- Баканев С.В. 2008. Результаты применения стохастической когортной модели CSA для оценки запаса камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. Т. 9, № 2 (34). С. 294–306.
- Баканев С.В. 2014. Оценка состояния запаса камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в российских водах Баренцева моря в 1994–2011 гг. // Труды ВНИРО. Том 151. С. 27–35.
- Баканев С.В. 2015. Оценка запаса камчатского краба в Баренцевом море с использованием моделей истощения // Вопросы рыболовства. Т. 16, № 4. С. 465–476.
- Баканев С.В. 2016. Методы оценки ориентиров управления запасом камчатского краба в Баренцевом море // Труды ВНИРО. Том 161. С. 16–25.
- Баканев С.В., Ковалев Ю.А. 2015. Оценка оптимального промыслового размера камчатского краба в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. Т. 16. № 4. С. 477–488.
- Иванов Б.Г. 2004. Некоторые проблемы промысла крабов в России // Рыбное хозяйство. № 4. С. 28–33
- Cooke J.G. 1999. Improvement of fishery-management advice through simulation testing of harvest algorithms // ICES J.Mar. Sci. 56, P. 797–810.
- ICES2003. Study Group on Biological Reference Points for Northeast Arctic Cod. Svanhovd, Norway 13–17 January 2003. ICES CM 2003/ACFM:11, 43 pp.
- ICES2016. Report of the second Workshop on Management Plan Evaluation on Northeast Arctic cod and haddock and Barents Sea capelin, 25–28 January 2016, Kirkenes, Norway. ICES CM 2016/ACOM:47, 76 pp.

- Mesnil B.* 2003. The Catch-Survey Analysis (CSA) method of fish stock assessment: an evaluation using simulated data // *Fisheries Research* 63. 193–212.
- Siddeek M.S.M., Zheng, J.* 2007. Evaluating the parameters of a MSY control rule for the Bristol Bay, Alaska, stock of red king crabs // *ICES Journal of Marine Science*, 64. P. 995–1005.
- Smith M.T., Addison J.T.* 2003. Methods for stock assessment of crustacean fisheries // *Fisheries Research* V. 65. P. 231–256.
- Zheng J., Murphy M.C., Kruse G.H.* 1995. A length-based population model and stock-recruitment relationships for red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in Bristol Bay, Alaska // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V.52: P. 1229–1246.
- Zheng J., Murphy M.C., Kruse G.H.* 1997 a. Application of a Catch-Survey Analysis to Blue King Crab Stocks Near Pribilof and St. Matthew Islands // *Alaska Fishery Research Bulletin*. № 4 (1). P. 62–74.
- Zheng J., Murphy M.C., Kruse G.H.* 1997 б. Analysis of the harvest strategies for red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in Bristol Bay, Alaska // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 54. P. 1121–1134.
- REFERENCE**
- Babayan V.K. 2000. *Predostorozhnyj podhod k ocenke obshchego dopustimogo ulova (ODU): Analizi i rekomendacii po primeneniyu [Precautionary approach to assessment of total allowable catch (TAC): Analysis and practical recommendations]*. M.Izd-vo VNIRO. 192 p.
- Bakanev S.V. 2008. *Rezul'taty primeneniya stohasticheskoy kogortnoj modeli CSA dlya ocenki zapasa kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v Barentsevom more [Application of a stochastic cohort model CSA for red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in the Barents Sea]* // *Voprosy rybolovstva* T. 9, № 2 (34) S. 294–306
- Bakanev S.V. 2014. *Otsenka sostoyaniya zapasa kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v rossiskikh vodah Barentseva morya v 1994–2011 gg. [Stock assessment of red king crab in the Barents Sea in 1994–2011]* // *Trudy VNIRO*. T. 151. S. 27–35
- Bakanev S.V. 2015. *Ocenka zapasa kamchatskogo kraba v Barentsevom more s ispolzovaniem modelej istoshcheniya [Stock assessment of the red king crab in the Russian EEZ of the Barents Sea by using depletion models]* // *Voprosy rybolovstva*. T. 16, № 4. S. 465–476.
- Bakanev S.V. 2016. *Metody otsenki orientirov upravleniya zapasom kamchatskogo kraba v Barentsevom more [Estimation methods for biological reference points of king crab stock in the Barents Sea]* // *Trudy VNIRO*. T. 161. S. 16–25.
- Bakanev S.V., Kovalev Yu.A. 2015. *Otsenka optimal'nogo promyslovogo razmera kamchatskogo kraba v Barentsevom more [Assesment of the optimum commercial size of red king crab in the Barents Sea]* // *Voprosy rybolovstva*. T. 16, № 4. S. 477–488.
- Ivanov B.G. 2004. *Nekotorye problemy promysla krabov v Rossii [Some problems of crab fisheries in Russia]* // *Rybnoe khozyajstvo*. № 4. S. 28–33.

*Поступила в редакцию 08.09.16 г.  
Принята после рецензии 14.09.16 г.*

## **Evaluation of a harvest control rule of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) fisheries in Russian waters of the Barents Sea**

*S.V.Bakanev*

Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (FSBSI «PINRO»),  
Murmansk

Using the simulation version of the CSA (catch survey analysis) model the Harvest Control Rule (HCR) for red king crab fisheries in the Barents Sea and its components including the target exploitation level and the reference points for biomass and maximal year-to-year variability of possible catch were analyzed. It was found that the used HCR for the red king crab fisheries in the Barents Sea agreed well with the precautionary approach principles. Thanks to the chosen comparatively low targeted catch, using different variants of the recruitment and values of stock estimation mistake does not enlarge the risk of reduction in the commercial stock lower than the limit reference point. In accordance with calculations of the simulation model, considerable increase in the target exploitation level does not lead to a great growth of the annual catch. At the same time, at that, the risk of reduction in stock lower than the target reference point increases. An analysis of feasibility to use various HCR elements showed that a single-zone control rule was acceptable at targeted withdrawal level of up to 0.2 when the state of stock did not influence recommended commercial withdrawal. Simultaneously, with the high possibility of mistakes in assessment of stocks taken into consideration, the additional elements of HCR (reference points for biomass and inter-annual TAC limitation) allow to mitigate the risk of overexploitation and to reduce inter-annual variability of catches.

**Key words:** red king crab *Paralithodes camtschaticus*, Barents Sea, harvest control rules.