

УДК 595.384.2: 639.2.055(268.45)

## Методы оценки ориентиров управления запасом камчатского краба в Баренцевом море

С.В. Баканев

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ФГБНУ «ПИНРО», г. Мурманск)  
e-mail: bakanev@pinro.ru

На примере баренцевоморского запаса камчатского краба предложено 3 метода оценки целевых и граничных ориентиров управления при низком и среднем информационном уровне обеспечения. Процедура оценки в каждом конкретном случае определяется полнотой и качеством информации, а также её экспертной интерпретацией. Основная сложность при этом может заключаться в качественной оценке состояния запаса и интенсивности промысла при выборе определённых периодов в истории эксплуатации запаса, когда требуется выявить продукционные способности запаса и способность его выдержать определённую промысловую нагрузку. Опираясь исключительно на статистику промысла, расчёт ориентиров производят на основании соотношений показателей вылова и производительности промысла. При этом полученные ориентиры управления для запаса камчатского краба в Баренцевом море ( $B_{tr} = 162$  кг/ловушку,  $B_{lim} = 66$  кг/ловушку,  $E_{tr} = 35$  тыс. ловушек) могут быть использованы для разработки схемы управления запасом в случае полного отсутствия полевых научных исследований. При использовании простых структурированных моделей ориентиры управления по биомассе могут быть выражены как величины промыслового запаса, а ориентиры управления по эксплуатации как доля изъятия промыслового запаса ( $B_{tr} = 56$  тыс. т,  $B_{lim} = 28$  тыс. т,  $E_{tr} = 0,1$ , т.е. вылов составляет 10% от запаса). Применение продукционной модели позволяет оценить целевые ориентиры в рамках самой модели. При этом граничный ориентир по биомассе может выбираться на основе анализа управленческого опыта эксплуатации других запасов с высоким уровнем информационного обеспечения. В рамках этой концепции ориентиры управления для запаса камчатского краба Баренцева моря оцениваются на уровне  $B_{tr} = 64$  тыс. т,  $B_{lim} = 19$  тыс. т,  $E_{tr} = 0,17$ , или 17%.

**Ключевые слова:** камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*, Баренцево море, ориентиры управления.

### ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени регулирование промысла камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815)) в Баренцевом море выполнялось без использования ориен-

тиров управления и формализованных правил регулирования промысла. В феврале 2015 г. был издан приказ Федерального агентства по рыболовству № 104, определивший новые научно-методические требования к материалам,

обосновывающим общие допустимые уловы (ОДУ), отвечающие современным мировым стандартам. Согласно приказу, для приоритетных видов водных биоресурсов (в том числе для камчатского краба Баренцева моря), необходимо оценить ориентиры управления и разработать правила регулирования промысла.

В мировой практике методы оценки ориентиров управления зависят от полноты и качества информационного обеспечения запаса [Caddy, 1998]. Высокий информационный уровень позволяет оценить ориентиры через формализованные методы, тогда как низкий вынуждает использовать экспертные нестандартные подходы, основанные на имеющейся статистике промысла. Средний уровень информационной обеспеченности оценки запаса

камчатского краба в Баренцевом море позволяет использовать как экспертную оценку ориентиров, так и простейшие аналитические методы, основанные на продукционных свойствах запаса.

Целью настоящей работы является оценка ориентиров управления для запаса камчатского краба в Баренцевом море с использованием различных подходов, встречающихся в международной практике.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Входными данными для оценки состояния запаса и ориентиров управления запасом камчатского краба послужили данные о ежегодном вылове, полученные на основе судовых суточных донесений ФГБУ «Центр системы мони-

**Таблица 1.** Вылов и основные показатели динамики численности промыслового запаса камчатского краба в Баренцевом море в 1994–2015 гг.

Год	Вылов, т	CPUE, кг/ловушку	Индексы численности, экз./ловушку – прибрежная съёмка	Промысловый запас, тыс. т – модель CSA	Промысловый запас, в районе лова, тыс. т – модель истощения Лесли	Промысловый запас, тыс. т – продукционная модель
1994	22			2,6		2,5
1995	9			2,5		2,5
1996	24			3,7		3,2
1997	63			4,4		3,7
1998	90			5,7		4,8
1999	143			6,7		6,3
2000	113			9,8		11,5
2001	300			13,4		16,7
2002	900			35,5		41,9
2003	1950			67,4		72,6
2004	1105			81,1		78,7
2005	3021			81,3		71,1
2006	12639	120		76,5		57,1
2007	10934	95		54,7	31,5	46,6
2008	9291	66		38,3	14,4	31,9
2009	6309	57	2,1	22,5	11,7	25,4
2010	3940	58	1,0	21,4	5,8	25,8
2011	3702	83	1,8	28,4	9,3	35,9
2012	5209	103	0,7	39,0	18,9	48,3
2013	5531	163	2,7	54,8	27,2	75,3
2014	5995	283	2,1	94,7	37,9	122,8
2015	6381	288	3,0	90,7	26,2	134,5

торинга рыболовства и связи», а также оценки промыслового запаса, полученные на основе промысловой статистики, исследовательских съёмок и аналитических моделей (табл. 1):

1) стандартизированные уловы на ловушку (CPUE) за период 2006–2015 гг.;

2) индексы численности (экз./ловушку), рассчитанные по результатам прибрежной ловушечной съёмки за период 2009–2015 гг.;

3) промысловый запас (тыс. т), рассчитанный по модели CSA за период 1994–2012 гг. [Баканев, 2008];

4) промысловый запас (тыс. т), распределяющийся в районе лова краба, рассчитанный по модели истощения Лесли за период 2007–2015 гг. [Баканев, 2015];

5) промысловый запас (тыс. т), рассчитанный по продукционной модели за период 1994–2015 гг. [Баканев, 2011].

Для стандартизации производительности промысла (CPUE) использовался метод обобщённых линейных моделей [Gavaris, 1980]. Для оценки значимости предикторов и вида функции связи был применён информационный критерий Акаике (AIC). В качестве зависимой переменной выступал параметр уловов на усилие, а предикторами служили факторы года, месяца, типа ловушки (трапециевидные, прямоугольные, конусные) и района. В соответствии с минимальной величиной AIC была выбрана логарифмическая функция связи с нормальной функцией распределения. Стандартизация по методу GLM осуществлялась с использованием стандартных формул статистического пакета R.

В качестве входных данных для модели CSA (Catch Survey Analysis) использовались индексы численности пререкрутов, рекрутов и пострекрутов, оценённые площадным методом по траловым съёмкам 1994–2012 гг., а также стандартизированный CPUE за 2006–2012 гг. и ежегодный вылов в 1994–2012 гг. Для оценки параметров модели и расчётных переменных использовался байесовский подход. Алгоритм расчётов и статистическая обработка полученных результатов были реализованы в программе OpenBUGS [Баканев, 2011]. С прекращением траловых съёмок в 2013–2015 гг. оценка запаса по модели CSA стала невозможной. В целях демонстрации

метода оценки ориентиров было решено экстраполировать динамику запаса, оценённую по модели CSA, в соответствии с динамикой других индексов, оценённых в 2013–2015 гг.

Оценки биомассы камчатского краба по модели истощения Лесли выполнены с помощью библиотеки FSA (Fisheries Stock Assessment Methods and Data) в статистическом пакете R. В качестве исходных данных использовалась стандартизированная производительность промысла (CPUE) с временным шагом 1 неделя. Темпы снижения производительности промысла в ходе промыслового сезона оценивались с помощью линейной регрессии [Баканев, 2015].

В качестве продукционной модели была выбрана стохастическая версия модели Шефера [Schaefer, 1954; Hvingel, Kingsley, 2006; Баканев, 2011]. В качестве входных данных использовался ежегодный вылов 1994–2015 гг., оценки промыслового запаса 1994–2012 гг., выполненные по модели CSA, а также стандартизированный улов на ловушку (CPUE) 2006–2015 гг. Алгоритм расчётов и статистическая обработка полученных результатов были реализованы в программе OpenBUGS [Баканев, 2011].

В работе производились расчёты целевого ( $B_{tr}$ ) и граничного ( $B_{lim}$ ) ориентиров управления по биомассе промыслового запаса, а также целевого ориентира управления по эксплуатации ( $E_{tr}$ ) [Бабаян, 2000]. Данные расчёты были основаны на анализе трёх групп данных:

1) трендов производительности промысла (CPUE);

2) оценок промыслового запаса с помощью модели CSA;

3) параметров продукционной модели:  $MSY$ ,  $B_{MSY}$ ,  $E_{tr}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Популяция камчатского краба в Баренцевом море является искусственно созданной, поэтому при оценке ориентиров управления учитывались следующие особенности запаса этого гидробионта:

1) низкая биомасса и низкая степень промысловой эксплуатации на начальном этапе освоения ресурса в 1994–2002 гг.;

2) значительный рост численности камчатского краба в 2000–2003 и 2011–2015 гг.,

обуславливающий невозможность принять допущение о равновесном состоянии запаса;

3) продолжающееся расширение ареала популяции и образование новых промысловых скоплений и, как следствие, изменение районов и интенсивности промысла.

Вышеперечисленные особенности, а также недостаточный уровень информационной обеспеченности в последние годы не позволяют в полной мере применить традиционные оценки ориентиров на основе концепции максимального устойчивого улова, связи «запас — пополнение» или улова на рекрута. С учётом этого проанализированы попытки применения некоторых экспертных и аналитических подходов к оценке ориентиров, которые встречаются в мировой практике для запасов промысловых гидробионтов со сходным уровнем информационного обеспечения.

**Оценка ориентиров управления на основе данных о вылове и CPUE.** При отсутствии научно-исследовательских съёмов один из экспертных подходов к оценке состояния запаса и ориентиров управления по биомассе может заключаться в анализе тренда, полученного на основе стандартизированного CPUE. При этом делается допущение о прямой зависимости величины CPUE от величины промыслового запаса, т.е. CPUE принимается в качестве индекса численности/биомассы [Ricker, 1975; King, 1995]. Выбор целевого ориентира по биомассе ( $B_{tr}$ ) может быть основан на двух принципах:

- 1) теории равновесной продукционной кривой;
- 2) практическом опыте эксплуатации.

В первом случае допускается, что в истории эксплуатации запаса были периоды с максимальной производительностью промысла ( $CPUE_{max}$ ), когда величина биомассы приблизительно соответствовала уровню ёмкости среды ( $K$ ). Согласно продукционному подходу [Schaefer, 1954] максимальный устойчивый вылов (MSY) может быть достигнут при уровне биомассы ( $B_{MSY}$ ), приблизительно равном половине ёмкости среды ( $0,5K$ ). Отсюда целевой ориентир может быть рассчитан как  $B_{tr} = 0,5K = q0,5CPUE_{MAX}$ , где  $q$  — коэффициент пропорциональности.

Во втором случае  $B_{tr}$  может рассчитываться на основе принципа практической уверенности [Вентцель, 2003] как средний показатель запаса за определённый период, когда запас находился на достаточно высоком уровне, но при этом испытывал сравнительно высокие промысловые нагрузки, экспертно оцениваемые на уровне  $F_{MSY}$  [ICES, 2012 a, 2012 b]. Как правило, если в истории эксплуатации запаса отсутствует стадия перелова, то в качестве ориентира выбирается средний  $CPUE_{mean}$  за весь период промысла.

Учитывая вышеизложенное, целевой ориентир, основанный на динамике CPUE, можно принять равным:

- 1)  $B_{tr} = 0,5CPUE_{max} = 144$  кг/ловушку;
- 2)  $B_{tr} = CPUE_{mean} = 132$  кг/ловушку.

Если во втором варианте расчёта принять, что низкие показатели производительности промысла в 2008—2010 гг. могут быть оценены как признаки чрезмерной эксплуатации запаса после весьма интенсивного промысла в 2006—2008 гг., то целевой ориентир вычисляется как средний CPUE за период 2006—2007 и 2011—2015 гг., т.е.  $B_{tr} = 162$  кг/ловушку.

Выбор граничного ориентира по биомассе ( $B_{lim}$ ) при низком информационном уровне обеспечения может быть также основан на нескольких подходах. Например, при отсутствии в истории промысла стадии перелова запаса, а также в случаях когда за период наблюдений запас эксплуатировался при широком диапазоне значений CPUE, в качестве граничного ориентира может быть принято наименьшее наблюденное значение производительности промысла —  $CPUE_{min}$  [Бабаян, 2000]. Минимальная производительность промысла баренцевоморского камчатского краба была отмечена в 2009 г. и в соответствии с этим  $B_{lim}$  может быть равен 57 кг/ловушку (табл. 1). Если в истории промысла существует период перелова, то граничный ориентир может быть выбран либо как максимальный, либо как среднелетний показатель уровня запаса в период его перелова [ICES, 2012 a, 2012 b]. Например, принимая за период перелова 2008—2010 гг. для баренцевоморского запаса  $B_{lim}$  может оцениваться как в 66 кг/ловушку, так и 60 кг/ловушку.

Помимо вышеуказанного метода оценки граничного ориентира, который в определённой степени основан на оценке состояния запаса в периоды разной степени его эксплуатации, существуют сугубо статистические подходы. Они основаны на выборе перцентили от совокупности наблюдаемых значений показателя состояния запаса или определённой доли от величины оценённого целевого ориентира. Метод перцентилей получил широкое распространение при использовании индикаторного подхода, когда исторический ряд разбивается на определённые группы с определением граничных значений [Koeller et al., 2002; Буяновский, 2012]. Например, 25-я перцентиль для ряда CPUE при эксплуатации баренцевоморского запаса составит 70 кг/ловушку.

Определение величины  $B_{lim}$  как доли от величины  $B_{tr}$  или от величины «девственного» неэксплуатируемого запаса ( $K$ ) достаточно часто используется при разработке правил регулирования промысла рыб и беспозвоночных с низким и средним уровнем информационного обеспечения. Довольно часто в международной практике  $B_{lim}$  принимается в диапазоне 30–50% от целевого уровня  $B_{tr}$  [Caddy, 1998]. В нашем случае  $B_{lim}$  можно принять в диапазоне 43–72 кг/ловушку при  $B_{tr} = 144$  кг/ловушку.

Один из способов количественного определения граничного ориентира как доли от неэксплуатируемого «девственного» запаса ( $K$ ) был предложен в документе FAO [1993] на основании обобщённого анализа соотношений запаса — пополнения для 91 запаса рыб Северной Атлантики и Европы. Было установлено, что величина  $B_{lim}$  для запасов со средним уровнем информационного обеспечения может быть установлена на уровне 20% от величины неэксплуатируемого запаса, а для запасов с низким уровнем информационного обеспечения — 30%.

Вышеописанный подход трудно применим для баренцевоморского запаса камчатского краба, не достигшего своей предельной численности (уровня «девственной» популяции) в период предшествующей эксплуатации. Однако если допустить, что в истории эксплуатации запаса были периоды с максимальной производительностью промысла, когда вели-

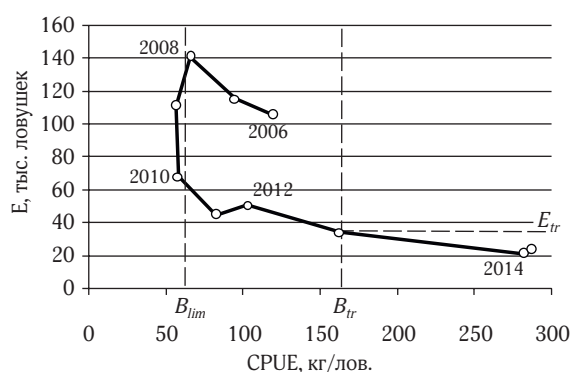
чина биомассы могла соответствовать уровню ёмкости среды, то  $B_{lim}$  приемлемо установить в диапазоне 20–30% от  $CPUE_{max}$ , т.е. 58–86 кг/ловушку.

В международной практике при обосновании схем регулирования для запасов с низким уровнем информационного обеспечения довольно часто ограничиваются определением одного типа ориентиров управления, характеризующих состояние запаса ( $B_{lim}$ ,  $B_{tr}$ ). Однако при наличии достоверных данных не только о CPUE, но и о величине ежегодного вылова ( $C$ ) возможно определение ориентиров, характеризующих интенсивность промысла в терминах промыслового усилия. Интенсивность промысла, или уровень эксплуатации, ( $E$ ) может выражаться через отношение ежегодного вылова ( $C_t$ ) к ежегодной оценке производительности промысла ( $CPUE_t$ ), т.е. через количество ловушек, выставленных в промысловый сезон  $t$ . Методы определения целевого уровня эксплуатации ( $E_{tr}$ ) основаны на историческом анализе соотношений показателей состояния запаса и промысла. Для этого необходимо выделить период в истории эксплуатации запаса, при котором: а) запас находился на достаточно высоком уровне; б) интенсивность промысла была высока; в) такой режим эксплуатации впоследствии не привёл к перелову. Средне-ноголетнее усилие в этот период принимается за целевой уровень эксплуатации. В случае с баренцевоморским запасом камчатского краба период для оценки  $E_{tr}$  может быть определён как с учётом перелова 2008–2010 гг. (1-й сценарий), так и без него, на основании всего ряда наблюдений (2-й сценарий). Если снижение производительности промысла в 2008–2010 гг. является не естественной вариативностью пополнения, а следствием перелова запаса в предыдущие годы, то период для оценки  $E_{tr}$  по первому сценарию должен быть ограничен 2011–2015 гг. Таким образом,  $E_{tr}$  по первому сценарию будет установлен на уровне 35 тыс. ловушек, по второму — 71 тыс. ловушек. С учётом небольшого ряда наблюдений и большой вариативности показателей состояния запаса и вылова в этот период два варианта оценки  $E_{tr}$  значительно отличаются между собой.

В качестве примера рассмотрим первый сценарий (в истории эксплуатации имеет-



ся перелов) расчёта ориентиров управления ( $B_{tr} = 162$  кг/ловушку,  $B_{lim} = 66$  кг/ловушку,  $E_{tr} = 35$  тыс. ловушек). В зональном виде область управления запасом камчатского краба в Баренцевом море с вышеуказанными ориентирами управления может быть представлена в виде рис. 1. Ориентиры управления по биомассе делят область управления на три зоны, в соответствии с которыми может вводиться определённый режим управления.



**Рис. 1.** Динамика индекса запаса (CPUE) и уровня эксплуатации ( $E$ ) запаса баренцевоморского камчатского краба, а также ориентиры управления его запасом ( $B_{lim}$ ,  $B_{tr}$  и  $E_{tr}$ ) в Баренцевом море в 2008–2015 гг., основанные на анализе промысловой статистики

В соответствии с рис. 1 в 2009–2010 гг. наблюдалась чрезмерная эксплуатация запаса при запасах ниже граничного ориентира ( $B_{lim}$ ). В 2011–2012 гг. наблюдалось восстановление запаса до уровня 2006 г., однако уровень эксплуатации был завышен. В 2013 г. запас находился на уровне целевых ориентиров, а впоследствии — в зоне безопасной эксплуатации.

Таким образом, предложенные ориентиры могут быть использованы в качестве реперных точек при разработке и обосновании схемы регулирования промысла в условиях низкой информационной обеспеченности (включая случаи отсутствия научно-исследовательских съёмок). Аналогичный подход может также использоваться при эксплуатации запасов со средним уровнем информационного обеспечения, когда известен точный ежегодный вылов и, например, индексы биомассы, полученные по результатам исследовательских съёмок [DFO, 2010]. При этом индексы биомас-

сы могут быть использованы как напрямую, в качестве вектора состояния запаса при расчёте ориентиров по биомассе, так и в качестве входных данных для моделирования динамики промыслового запаса. В качестве вектора, отражающего уровень интенсивности промысла, при этом используется доля изъятия ( $E$ ), т.е. отношение ежегодного вылова ( $C_t$ ) к ежегодной относительной (оценённой по съёмке) или абсолютной (оценённой по модели) оценке промыслового запаса ( $B_t$ ). В зависимости от метода оценки биомассы уровень изъятия может отражать как реальную долю изъятия промыслового запаса (в случае, например, использования оценок модели CSA), так и являться условным показателем интенсивности промысла (в случае использования индексов съёмок напрямую [DFO, 2010]).

**Оценка ориентиров управления с использованием модели CSA.** Рассмотрим процедуру оценки ориентиров управления на основе ежегодной оценки промыслового запаса с помощью модели CSA и вылова (табл. 1). Выбор ориентиров будет при этом исходить из тех же предпосылок, что и при оценке на основе вектора CPUE. Однако временной ряд оценок по модели CSA значительно превышает ряд CPUE и охватывает ранний период эксплуатации запаса (1994–2001 гг.), когда величина запаса и уровень его эксплуатации, в силу незавершённости процессов натурализации, были значительно ниже, чем в последующие годы. Оценка ориентиров на основе показателей всего временного ряда будет существенно смещена в сторону показателей раннего периода эксплуатации, что исказит фактический уровень продукционных способностей запаса, характерный для текущего периода широкомасштабного промысла.

При зональном отражении области управления можно выделить совокупность соотношений оценок запаса и уровня эксплуатации в период 1994–2001 гг., когда биомасса и эксплуатация близки к нулевым значениям (рис. 2). По всей видимости, этот период должен быть исключён из временных рядов при оценке текущих продукционных свойств запаса и ориентиров управления. Кроме того, при расчётах  $E_{tr}$  необходимо учитывать весьма вы-

сокий уровень изъятия 2006–2009 гг., который, вероятно, и привёл к перелому в 2007–2012 гг. Возможно, что при оценке  $E_{tr}$  наиболее обоснованным будет использование величин  $E$  за периоды 2001–2005 и 2010–2015 гг., за исключением годов с крайне низкой (1994–2000 гг.) и крайне высокой (2006–2009 гг.) эксплуатацией. С учётом вышеизложенного целевой ориентир может быть установлен на уровне средней величины промыслового запаса в 2002–2015 гг. ( $B_{tr} = 56$  тыс. т), а целевой ориентир по эксплуатации — на уровне среднего изъятия в 2001–2005 и 2010–2015 гг. ( $E_{tr} = 0,1$ , или 10% от промыслового запаса). Граничный ориентир по биомассе ( $B_{lim}$ ) может быть выбран как  $0,5 \times B_{tr} = 28$  тыс. т.



**Рис. 2.** Динамика промыслового запаса и уровня эксплуатации запаса баренцевоморского камчатского краба, а также ориентиры управления его запасом ( $B_{lim}$ ,  $B_{tr}$  и  $E_{tr}$ ) в Баренцевом море в 1994–2015 гг., основанные на оценке по модели CSA

Вышеописанный подход выбора ориентиров управления основан на экспертном анализе истории эксплуатации и состояния запаса. Величины ориентиров зависят от выбранного ряда наблюдений и способа его статистической обработки и, по существу, от субъективного решения эксперта. Одним из возможных способов отхода от субъективного принятия решений является проверка величин ориентиров в рамках концепции предосторожного подхода [ICES, 2003]. При среднем уровне информационного обеспечения (т.е. при наличии научно-исследовательской съёмки) такая диагностика может быть выполнена в рамках статистической модели [DFO, 2010] или путём имитации разных режимов управления при ис-

пользовании аналитической модели [Баканев, 2016].

**Оценка ориентиров управления с использованием продукционной модели.** Другим способом отхода от экспертной оценки ориентиров при недостаточном информационном уровне является использование продукционной модели, где в качестве входных данных могут использоваться только два ряда: годовой вылов и показатель состояния запаса (в нашем случае — среднегодовая производительность промысла). Результатом оценки при этом является величина промыслового запаса в наблюдаемый период (табл. 1), а также продукционные популяционные параметры: максимальный устойчивый улов (MSY) и предельный уровень запаса, или ёмкость среды ( $K$ ). Несмотря на то, что применение продукционной модели к искусственно созданному запасу, когда его начальная промысловая величина существенно ниже своего возможного максимума ( $K$ ), имеет определённые ограничения, расчёты по этой модели могут быть использованы напрямую для оценки ориентиров управления  $B_{MSY}$  и  $F_{MSY}$ . Причём стохастическая версия модели позволяет оценить параметры в интервальном виде и выбрать, например, определённую перцентиль для ориентиров в рамках предосторожного подхода (табл. 2).

Результаты расчётов показали, что текущая величина промыслового запаса ( $B_{2015}$ ) находится практически на уровне предельной величины  $K$ . Медианная величина целевого ориентира управления по эксплуатации ( $F_{MSY}$ ) составляет 0,2, т.е. 20% от промыслового запаса. Согласно оценённой величине запаса в 2015 г. и целевому уровню изъятия, рекомендованный вылов для 2015 г. мог бы составить 26 тыс. т ( $B_{2015} \cdot F_{MSY}$ ), т.е. в 4 раза выше фактического вылова в 2015 г. (6,4 тыс. т).

По всей видимости, оценки текущего состояния запаса, рассчитанные по продукционной модели, являются чрезмерно оптимистическими. Причиной возможной переоценки запаса стал рекордный рост CPUE в 2012–2015 гг., от динамики которого в продукционной модели во многом зависит динамика промыслового запаса. Кроме того, продукционный метод в настоящее время не позволяет дать оценку

**Таблица 2.** Медианные значения с границами 50%-го и 95%-го доверительных интервалов некоторых параметров продукционной модели для запаса камчатского краба Баренцева моря

Параметры	2,5%	25%	Медиана	75%	97,5%
$K$ (тыс. т)	89,8	106,785	133,7	170,5	302,9
$MSY$ (тыс. т)	8,6	10,435	12,7	13,4	13,9
$B_{MSY}$ (тыс. т)	44,6	54,530	64,1	78,1	123,0
$F_{MSY}$ ( $MSY/B_{MSY}$ )	0,19	0,19	0,20	0,17	0,11
$B_{2015}$ (тыс. т)	47,3	90,6	129,9	185,8	366,2

с приемлемой точностью. Промысловая биомасса с 95%-й вероятностью находится в пределах от 47 до 366 тыс. т.

Несмотря на высокие показатели текущего запаса, величина целевого ориентира управления выглядит весьма правдоподобно. Например, при прямом учёте краба по траловым съёмкам величина изъятия оценивается на уровне 10–30% от промыслового запаса [Иванов, 2004]. В то же время, учитывая величины границ 50%-го и 95%-го доверительных интервалов, медианная оценка  $F_{MSY}$  оценивается на максимальном уровне (табл. 2). Возможно, более осторожным вариантом будет являться выбор величины  $F_{MSY}$  с учётом всего диапазона значений, например, путём осреднения медианы и 2,5; 25; 75; 97,5 перцентилей. В этом случае  $F_{MSY}$  может быть установлен на уровне 0,17, или 17% от величины промыслового запаса.

Если целевые ориентиры управления при продукционном подходе оцениваются в самой модели, то граничные ориентиры должны быть оценены вне её рамок. Стоит отметить, что оценка граничного ориентира управления по биомассе для запаса камчатского краба Баренцева моря может быть оценена экспертно, без строгой аналитической процедуры, с учётом не только недостаточного уровня информационной обеспеченности, но и существующих технических мер регулирования промысла в баренцевоморском регионе. Полный запрет промысла в прибрежной 12-мильной зоне обеспечивает сохранение весьма высокой доли промыслового запаса даже при чрезмерной промысловой нагрузке. Кроме того, запрет на вылов самок и самцов размером менее 150 мм по ширине карапакса обеспечивает сохранение

определённой доли нерестового запаса, которая препятствует коллапсу запаса в случае его длительного перелома, но при соблюдении технических мер регулирования.

С учётом вышеизложенного величину  $B_{lim}$  можно принять, например, на уровне 30% от  $B_{MSY}$ , что соответствует принятой схеме регулирования рыболовства, например, в Северной Атлантике, при оценке запасов рыб и беспозвоночных по продукционным моделям [ICES, 2003; Hvingel, Kingsley, 2006]. В этом случае  $B_{lim}$  будет равен 19 тыс. т ( $0,3 * B_{MSY}$ ).

Таким образом, стохастический продукционный подход может обеспечить расчёт основных ориентиров управления в условиях, близких к низкому уровню информационной обеспеченности. Однако высокий уровень неопределённости вынуждает особо критически рассматривать такого рода оценки и по возможности использовать дополнительные эмпирические методы при разработке схемы регулирования промысла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье показаны практические способы оценки ориентиров управления при низком и среднем уровне информационной обеспеченности на примере управления запасом камчатского краба в Баренцевом море. Опираясь исключительно на статистику промысла, расчёт ориентиров можно проводить на базе практического опыта эксплуатации с выделением различных периодов на основании соотношений показателей вылова и производительности промысла. В этом случае ориентиры управления по биомассе будут выражаться в показателях производительности промысла, например, стандартизированного улова на



усилие (CPUE). Ориентиры управления по эксплуатации при этом устанавливаются в показателях промыслового усилия. Таким образом, полученные ориентиры управления для запаса камчатского краба в Баренцевом море ( $B_{tr} = 162$  кг/ловушку,  $B_{lim} = 66$  кг/ловушку,  $E_{tr} = 35$  тыс. ловушек) могут быть использованы для разработки схемы управления запасом в случае полного отсутствия полевых научных исследований.

При наличии съёмки и использовании простейших структурированных моделей (например, CSA), которые позволяют аккумулировать различные индексы по съёмкам и производительности промысла, оценка ориентиров происходит путём статистического анализа различных периодов эксплуатации и состояния запаса. При этом ориентиры управления по биомассе могут быть выражены как величины промыслового запаса, а ориентиры управления по эксплуатации как доля изъятия промыслового запаса ( $B_{tr} = 56$  тыс. т,  $B_{lim} = 28$  тыс. т,  $E_{tr} = 0,1$ , или 10%).

При успешной реализации продукционного подхода выбор целевых ориентиров управления может осуществляться в самой модели. При этом граничный целевой ориентир по биомассе может выбираться на основе анализа управленческого опыта эксплуатации других запасов с высоким уровнем информационного обеспечения. В рамках этой концепции ориентиры управления для запаса камчатского краба Баренцева моря оцениваются на уровне  $B_{tr} = 64$  тыс. т,  $B_{lim} = 19$  тыс. т,  $E_{tr} = 0,17$ , или 17%.

Таким образом, при недостаточном уровне информационного обеспечения и невозможности использования стандартных процедур, методы оценки ориентиров управления в каждом конкретном случае определяются полнотой и качеством информации, а также её экспертной интерпретацией. Основная сложность при этом может заключаться в качественной оценке состояния запаса и интенсивности промысла при выборе определённых периодов в истории эксплуатации запаса, когда требуется определить продукционные способности запаса и его способность выдержать определённую промысловую нагрузку.

## 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. 2011. Динамика популяции камчатского краба в Баренцевом море (опыт моделирования). Saarbrücken: Lambert Acad. Publ. (LAP). 151 с.
- 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 (в печати). Оценка правила регулирования промысла камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в российских водах Баренцева моря // Труды ВНИРО.
- Буяновский А.И. 2012. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО. 222 с.
- Иванов Б.Г. 2004. Некоторые проблемы промысла крабов в России // Рыбное хозяйство. № 4. С. 28–33
- Вентцель Е.С. 2003. Теория вероятностей: Учебник для студ. вузов. 9-е изд., стер. М.: Академия. 576 с.
- DFO. 2010. Reference points consistent with the precautionary approach for snow crab in the southern Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2010/014.
- Caddy J.F. 1998. A short review of precautionary reference points and some proposals for their use in data-poor situations // FAO Fish. Tech. Pap. Rome: FAO. № 379. 30 p.
- FAO. 1993. Reference points for fisheries management: their potential application to straddling and highly migratory resources. FAO Fish. Circ. 864. 52 p.
- Cavaris S. 1980. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 37. P. 2272–2275.
- Hvingel C., Kingsley M.C.S. 2006. A framework to model shrimp (*Pandalus borealis*) stock dynamics and quantify the risk associated with alternative management options, using Bayesian methods // ICES J. Mar. Sci. V. 63. P. 68–82.
- ICES. 2012 a. ICES implementation of advice for data limited stocks in 2012. Report in support of ICES advice. ICES CM2012/ACOM:68.

- ICES. 2012 b. Report of the workshop to finalize the ICES data-limited stock (DLS) methodologies documentation in an operational form for the 2013 advice season and to make recommendations on target categories for data limited stocks (WKLIFE2). ICES CM 2012/ACOM:79.
- ICES. 2003. Study group on biological reference points for Northeast Arctic cod. Svanhovd, Norway. 13–17 January 2003. ICES CM 2003/ACFM:11. 43 p.
- King M.G. 1995. Fisheries Biology, Assessment and Management. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, England. 341 p.
- Koeller P.A., Cover M., King M. 2002. A new traffic light assessment for the eastern Scotian shelf shrimp fishery in 2001. Canadian Science Advisory Secretariat. 50 p.
- Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population // Bull. Fish. Res. Bd. Can. V. 191. 382 p.
- Schaefer M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries // Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 1. P. 25–56.
- REFERENCES**
- Babayan V.K. 2000. Predostorozhnyj podkhod k otsenke obshchego dopustimogo ulova (ODU): analiz i rekomendatsii po primeneniyu [Precautionary approach to assessment of total allowable catch (TAC): Analysis and practical recommendations]. M.: Izd-vo VNIRO. 192 s.
- Bakanev S.V. 2008. Rezul'taty primeneniya stokhasticheskoy kogortnoj modeli CSA dlya otsenki 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. 2011. Dinamika populyatsii kamchatskogo kraba v Barentsevom more (opyt modelirovaniya) [Population dynamics of red king crab in the Barents Sea (modelling experience)]. Saarbrucken: Lambert Acad. Publ. (LAP). 151 s.
- Bakanev S.V. 2015. Otsenka zapasa kamchatskogo kraba v Barentsevom more s ispol'zovaniem 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 (v pechati). Otsenka pravil regulirovaniya promysla kamchatskogo kraba (*Paralithodes camtschaticus*) v rossijskih vodah Barentseva morya [Evaluation of a harvest control rule of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) fisheries in Russian waters of the Barents Sea] // Trudy VNIRO.
- Buyanovskij A.I. 2012. Prognoz potentsial'nogo vylova pribrezhnyh bespozvonochnyh pri zatrudnenii s otsenкой zapasa. Metodicheskie rekomendatsii [Potential catch of coastal invertebrates forecast under the difficulties in stock assessment]. M.: Izd-vo VNIRO. 222 s.
- Ivanov B.G. 2004. Nekotorye problemy promysla krabov v Rossii [Some problems of crab fisheries in Russia] // Rybnoe khozyajstvo. № . 4. S. 28–33.
- Ventsel' E.S. 2003. Teoriya veroyatnostej: Uchebnik dlya stud. Vuzov [Probability theory: A textbook for universities students]. 9-e izd., ster. M.: Akademiya. 576 s.
- Поступила в редакцию 06.06.16 г.  
Принята после рецензии 04.07.16 г.

## Estimation methods for biological reference points of king crab stock in the Barents Sea

*S.V. Bakanev*

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

With the Barents Sea king crab stock as an example, three estimation methods were carried out for target and limit reference points of management at low and average information level of support. Estimation procedure in each case was determined by completeness, quality and expert interpretation of information. The main challenge here may be linked to stock quality estimation and fisheries activity while choosing specific periods in stock exploitation history when stock production ability and its ability to bear specific fisheries load are needed to be determined. Reference points calculation is based on the indices correlation of yield and fisheries production and on fisheries statistics. The derived reference points for the Barents Sea king crab stock management ( $B_{tr} = 162$  kilos/pot,  $B_{lim} = 66$  kilos/pot,  $E_{tr} = 35\ 000$  pots) may be used to develop stock strategy scheme in case of total absence of field research. When simple structured models are used, management reference points may be put into fishing stock values and exploitation management reference points may be put into fishing stock withdrawal fraction ( $B_{tr} = 56000$  t,  $B_{lim} = 28000$  t,  $E_{tr} = 0,1$ , or 10%). Usage of the production model makes it possible to estimate target reference points in the model itself. Boundary target reference point may be chosen on the basis of the analysis of exploitation management experience of other stocks with high level of information support. Within the framework of this conception, reference points for king crab stock are estimated at level of  $B_{tr} = 64000$  t,  $B_{lim} = 19000$  t,  $E_{tr} = 0,17$ , or 17%.

**Key words:** king crab *Paralithodes camtschaticus*, the Barents Sea, management reference points.φ