

## ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

УДК 595.384.2.08

### О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ КРАБА-СТРИГУНА ОПИЛИО (*CHIONOECETES OPILIO*) В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

© 2010 г. С.В. Баканев, В.А. Павлов

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, Мурманск 183038

Поступила в редакцию 02.04.2009 г.

Окончательный вариант получен 13.04.2010 г.

Численность краба-стригуна в Баренцевом море рассчитана за период с 1996 по 2007 год с помощью стохастической продукционной модели на основе данных, полученных по результатам траловых съемок и экспертных оценок приловов краба-стригуна при донном траловом промысле рыбы. При численности, соответствующей экологической емкости среды, равной 400 млн. экз., максимальный устойчивый вылов может составить 67 млн. экз.

*Ключевые слова:* краб-стригун опилио, моделирование динамики численности, Баренцево море.

### ВВЕДЕНИЕ

Успешная акклиматизация камчатского краба в Баренцевом море и открытие его коммерческого промысла стали причиной возникновения интереса научной общественности и промышленников к еще одному новому представителю баренцевоморской фауны – крабу-стригуну *Chionoecetes opilio*. У крабовой индустрии, сформировавшейся в этом регионе, появилась реальная возможность расширить свою инфраструктуру благодаря новому запасу. Общественный интерес включает в себя два важных вопроса, ответы на которые могут помочь в понимании будущего воздействия вида, как на экосистему Баренцева моря, так и на хозяйственную деятельность человека в этом регионе:

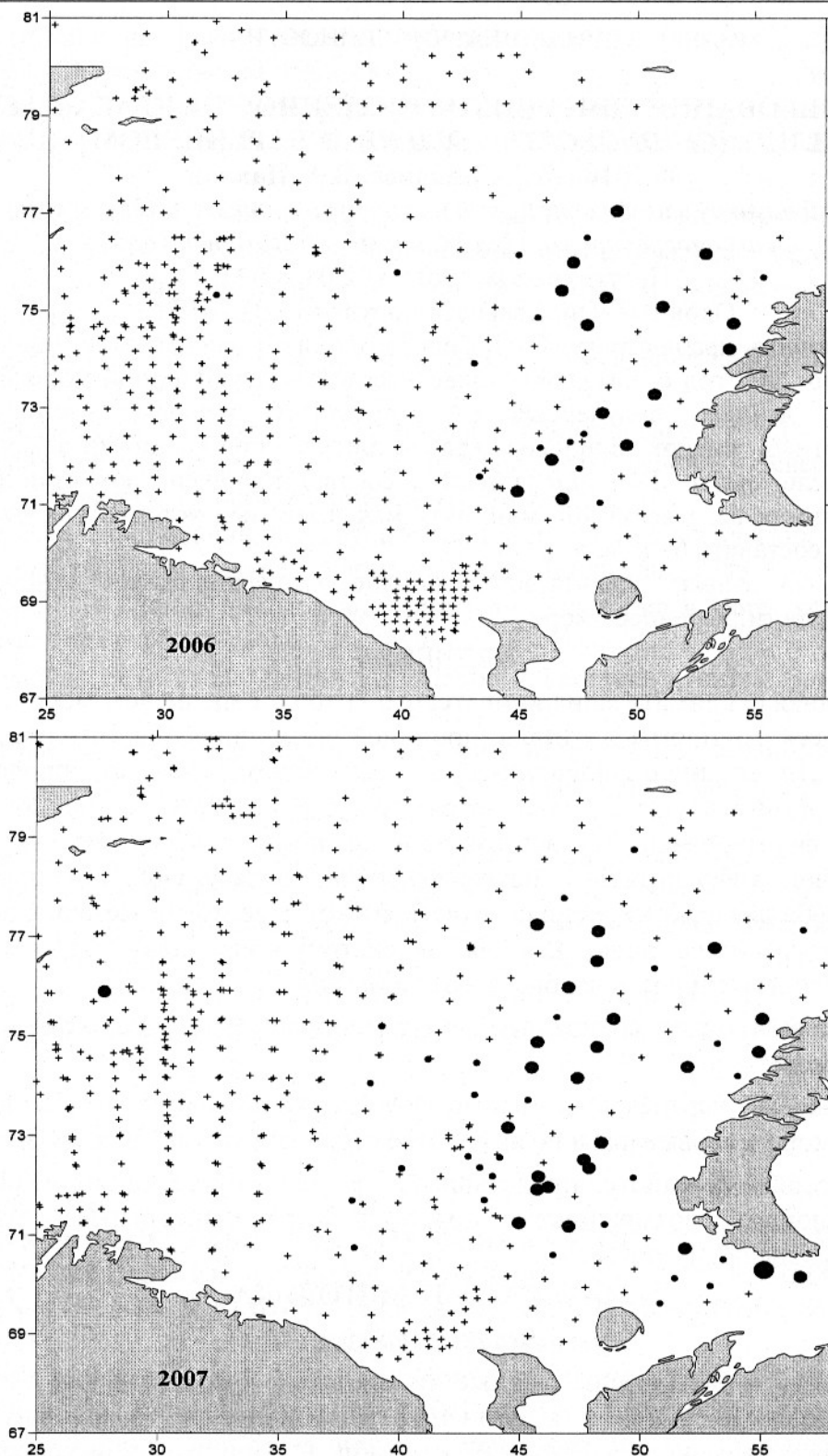
- 1) каковым будет возможный продукционный потенциал нового запаса в Баренцевом море;
- 2) каковы перспективы промысловой эксплуатации краба-стригуна в Баренцевом море и первые шаги по выработке стратегии управления его запасом.

В настоящей работе представлены первые попытки прогностических оценок, дающие возможность получить предварительные ответы на поставленные выше вопросы.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

#### *Входные данные*

В работе использованы данные о приловах краба-стригуна при донном траловом промысле рыбы и выполнении многовидовых тралово-акустических съемок в Баренцевом море в 1996-2007 гг. (табл. 1). При этом учитывались только сведения, поступающие с судов, на которых были научные группы или инспекторы рыбоохраны. Информация о приловах стригуна включала данные о параметрах орудий лова, продолжительности и скорости тралений. Регистрировалось количество пойманных крабов и их биологические характеристики в соответствии с методикой, принятой в тихоокеанском регионе (Руководство ..., 1979).



**Рис. 1.** Распределение уловов краба-стригуна в Баренцевом море осенью 2006-2007 гг. (крестиками обозначено положение траловых станций), экз./трал.

**Fig. 1.** Distribution of snow crab abundance in the Barents Sea in autumn 2006-2007 (trawl stations are indicated by daggers), crabs/trawl.

С 2005 по 2007 гг. краб-стригун регистрировался в материалах совместных российско-норвежских экосистемных съемок, охвативших практически всю акваторию Баренцева моря, исключая самые северные районы, закрытые льдом (рис. 1). Общая площадь обследованной акватории составляла более 1 372 тыс. кв. км.

По результатам этих исследований был выделен район (530 тыс. кв. км) встречаемости краба и рассчитаны индексы численности животного для этой акватории методом площадей (Аксютина, 1968; Doubleday, 1981).

Биологический анализ краба-стригуна включал промеры ширины карапакса (в самой широкой части с точностью до 1 мм) и высоты клешни (с шипами) с точностью до 0,1 мм, взвешивание (с точностью до 1 г), определение пола, межлиночной категории, стадий зрелости самок, состояния конечностей, регистрация количественного и качественного состава эктопаразитов и коконов пиявок.

В настоящее время краб-стригун в Баренцевом море может рассматриваться как потенциально промысловый вид, для которого пока не установлена промысловая мера и прочие технические меры регулирования. В настоящей работе промысловым запасом краба-стригуна считается совокупность самцов с шириной карапакса (ШК) равной 95 мм и более, обитающих на исследованной акватории. Такая промысловая мера установлена в районах северо-западной Атлантики (Dawe et al., 2001), однако обоснованность этой величины в данной работе не рассматривается.

### *Моделирование численности*

#### Уравнения процесса

В качестве модели использована логистическая продукционная модель популяционного роста, имеющая дифференциальный вид (Richards, 1959; Pella, Tomplinson, 1969):

$$\frac{dB}{dt} = Br \left( 1 - \left( \frac{B}{K} \right)^{m-1} \right), \quad (1)$$

где  $B$  – численность промыслового запаса,  $K$  – численность промыслового запаса, соответствующая емкости среды,  $r$  – мгновенный коэффициент весового роста (внутренняя скорость роста) в отсутствие плотностной регуляции,  $m$  – параметр формы кривой «запас-пополнение»: значение  $m=2$  дает стандартную логистическую траекторию, часто называемую «продукционной моделью Шеффера» (Schaefer, 1954). Высокое значение  $m$  предполагает, что уменьшение скорости роста популяции при увеличении ее плотности несущественно до тех пор, пока численность запаса не достигла неких предельных значений и наоборот.

Дискретный вид модели, описывающей переход из одного состояния  $t$  в следующее  $t+1$  и включающей промысловую смертность, где скорость экспоненциального роста ( $r$ ) выражается через максимально устойчивый вылов ( $MSY$ ), выглядит так:

$$B_{t+1} = B_t - C_t + \lambda MSY \frac{B_t}{K} \left( 1 - \left( \frac{B_t}{K} \right)^{m-1} \right), \quad \lambda = \frac{m}{m-1} \quad (2)$$

где  $B_t$  – численность в году  $t$ ;  $MSY$  – максимально устойчивый вылов;  $C_t$  – возможный вылов, при прогностических оценках.

#### Уравнения наблюдений

Для оценки промысловой численности краба-стригуна использованы индексы численности крабов из экосистемных съемок 2005-2007 гг. (*surv*) и величина приловов краба в 1996-2007 гг. (*bycatch*, табл. 1) Отношение индексов к реальной величине численности выражается через коэффициенты улавливаемости  $q_s$  и  $q_b$ ,

соответственно. Принимается, что ошибки наблюдений индексов ( $\kappa$  и  $w$ ) распределяются логнормально и распределение данных выглядит как:

$$surv_t \sim q_s B_t \exp(\kappa) , (3)$$

$$bycatch_t \sim q_b B_t \exp(w) ,$$

Допускается, что распределение ошибок  $\kappa$  и  $w$  нормально со средним 0 и среднеквадратичным отклонением  $\sigma_\kappa^2$  и  $\sigma_w^2$ .

**Таблица 1.** Приловы краба-стригуна в 1996-2007 гг. и индексы численности его промыслового запаса по данным экосистемной съемки в 2005-2007 гг.

**Table 1.** By-catches of snow crab in 1996-2007 and abundance indices of the commercial stock based on the data from the ecosystem surveys in 2005-2007.

Годы	Количество сообщений, экз.	Величина приловов, экз.	Количество всех промысловых крабов, экз.	Индекс численности, млн. экз.
1996	5	5	5	
1997	1	1	1	
1998	2	2	2	
1999	7	9	8	
2000	12	15	8	
2001	9	11	5	
2002	21	44	28	
2003	79	227	107	
2004	73	265	174	
2005	94	544	555	0,86
2006	80	511	1676	2,16
2007	108	560	594	1,93

*Оценка параметров, верификация и исследование модели*

Оценка параметров модели осуществлялась с использованием байесовского подхода. Метод Т. Байеса (Bayes, 1958) используется для получения распределения апостериорных вероятностей возможных значений параметров модели. Алгоритмы вычисления и диагностика были реализованы в программном продукте WinBUGS v.1.3, разработанным в Великобритании ([www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs](http://www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs); Gilks et al., 1994, Spiegelhalter et al., 2000). Требовалось определить априорные вероятности распределений следующих параметров: численности крабов для первого года исследований по размерно-возрастным группам  $B_{1996}$ ,  $K$ ,  $m$ ,  $MSY$ ,  $q_s$ ,  $q_b$  и ошибок наблюдений.

Идентификация, верификация и исследование модели выполнялись по методикам, описанным в руководстве к программному обеспечению WinBUGS v.1.3, а также в работах К. Вингеля, М.К. Кингсли и С.В. Баканева (Hvingel, Kingsley, 2006; Bakanev, 2006).

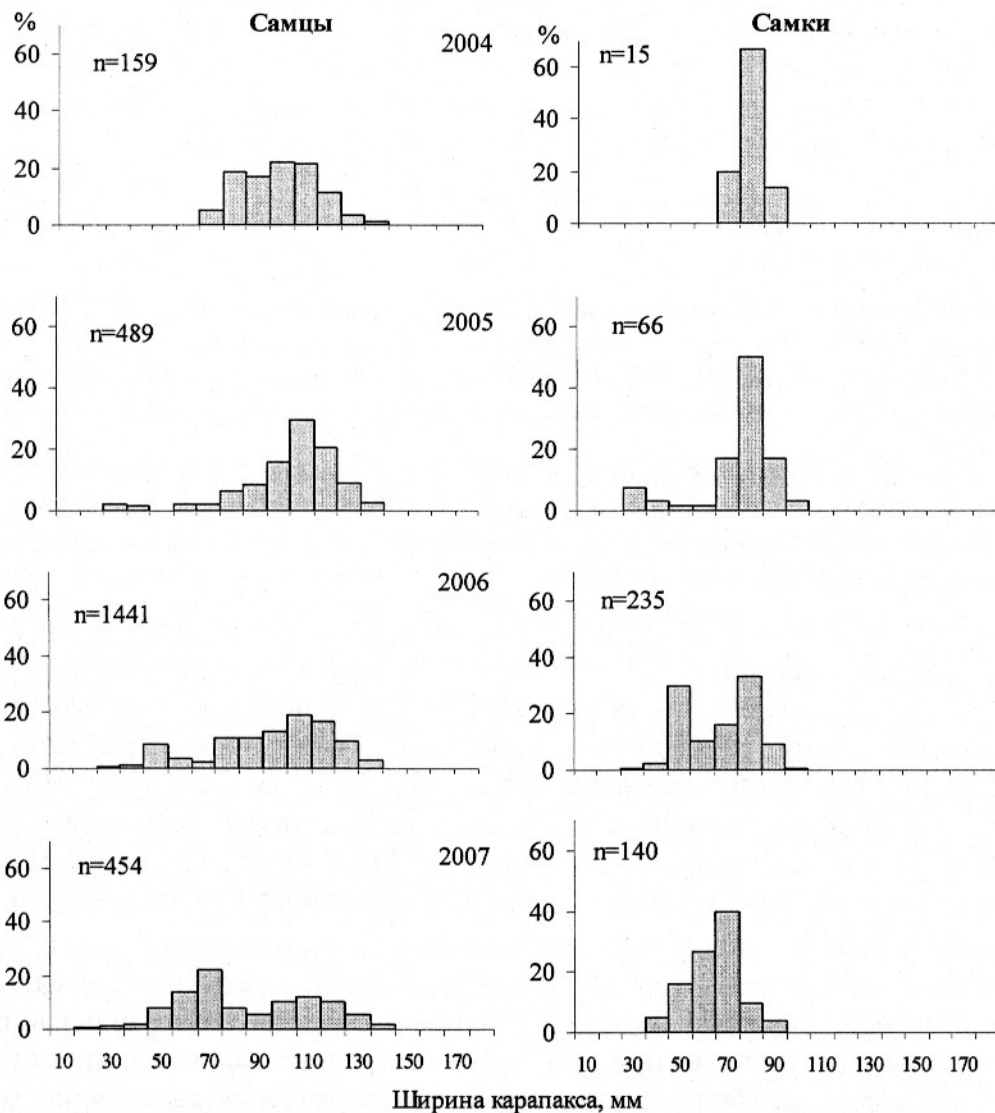
**РЕЗУЛЬТАТЫ**

Первые поимки *S. opilio* в Баренцевом море были отмечены в 1996 г. С 2003 г. количество сообщений о приловах краба значительно возросло (табл. 1). Животные отмечались не только в районах их первой регистрации в юго-восточной части Баренцева моря (Гусиная банка), но также встречались по всей акватории моря. Наиболее часто краб встречался на востоке Баренцева моря и значительно реже в его центральных и западных районах (рис. 1). Увеличение плотности концентраций крабов в восточных районах моря стало основанием для оптимистических прогнозов на перспективы его промысла. Наибольшие уловы (7-

11 экз. за 15-минутное траление) были отмечены на склонах Гусиной банки. В 1996-2007 гг. более 90% сообщений о приловах этого вида также поступило с акватории Гусиной банки и прилегающих к ней районов.

В пределах Баренцева моря краб-стригун был отмечен на глубинах 60-360 м. Около 80% всех находок и 90% промысловых крабов приходилось на глубины 200-300 м.

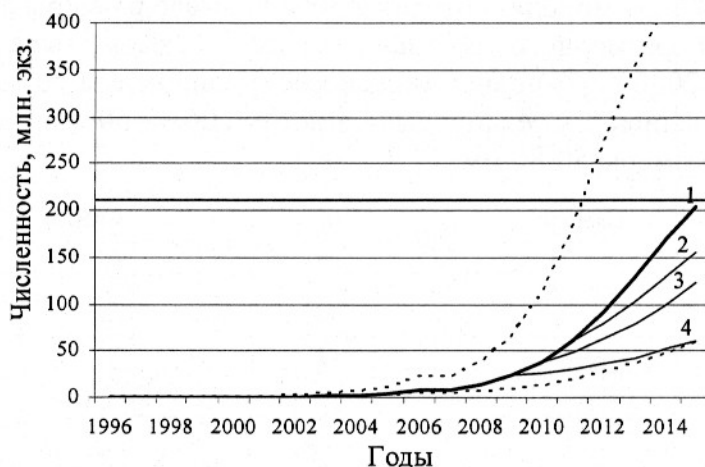
С 2004 по 2007 гг. соотношение в уловах самцов и самок менялось в сторону увеличения доли самок. В 2004 г. это соотношение было 10:1, в 2005 г. – 7:1, в 2006 г. – 6:1, в 2007 г. – 3:1. Доля самок с икрой составила 60-90% от всех самок. Модальные размеры самцов в уловах были между 90 и 130 мм. Однако с 2005 г. увеличилась доля молодежи, которая в 2007 г. имела размеры 50-80 мм (рис. 2). Анализ изменений размерного состава в уловах самок выявил аналогичные тенденции. В 2004-2006 гг. основная модальная группа имела размеры 60-90 мм. В 2005-2006 гг. отмечались также молодые самки с ШК 30-50 мм, которые в 2007 г. имели модальные размеры 50-80 мм.



**Рис. 2.** Размерный состав краба-стригуна при донном траловом промысле рыбы и по данным тралово-акустических съемок в Баренцевом море в 2004-2007 гг.

**Fig. 2.** Carapace width composition of snow crab while fish bottom trawling based on the data from trawl-acoustic surveys in the Barents Sea in 2004-2007.

Полученные в результате расчетов оценки численности промыслового запаса краба-стригуна в Баренцевом море в 1996-2007 гг. свидетельствует о постоянной тенденции к ее росту (рис. 3). На начало 2008 г. прогностическая промысловая численность краба с 50% вероятностью находится в интервале от 3 до 22 млн. экз. с медианой 8,5 млн. экз. Прогностические оценки показывают, что при существующем темпе роста численности промысловой части популяции и отсутствии промыслового воздействия, запас краба-стригуна может достигнуть  $B_{MSY}$ , т.е. уровня численности, при котором возможна его максимальная устойчивая эксплуатация ( $MSY$ ). К 2014-2015 гг.  $MSY$  оценен на уровне 62 млн. экз. при величине запаса в 210 млн. экз.



**Рис. 3.** Промысловая численность самцов краба-стригуна в Баренцевом море в 1996-2007 гг. Численность в 2008-2015 гг. прогностическая (1 – при отсутствии промысла; 2, 3, 4 – при открытии промысла в 2011, 2010, 2009 гг. с выловом 10 млн. экз., соответственно; пунктирные линии – границы 50% доверительного интервала при отсутствии промысла; горизонтальная линия – уровень  $B_{MSY}$ ).

**Fig. 3.** Commercial abundance of snow crab males in the Barents Sea in 1996-2007. Predicted abundance for 2008-2015 (1 – in absence of fishery; 2, 3, 4 – when fishery will start in 2011, 2010 or 2009 with yield of 10 million crabs accordingly; dotted line – limits of the 50% confidence interval in case of no fishery; horizontal line –  $MSY$  level).

Согласно расчетам степень эксплуатации при удовлетворительном состоянии запаса не должна превышать 30-35% от его промысловой численности. Однако высокая степень неопределенности в оценках параметров показывает, что при таком уровне изъятия риски превышения возможных ориентиров управления будут крайне высоки. Открытие промысла ранее 2014-2015 гг. увеличит вероятность снижения темпов роста численности. На рисунке 3 показана возможная динамика численности запаса, если бы промысел открылся в 2009-2011 гг. с возможным выловом 10 млн. экз. Чем позже начало промысла, тем выше темп прироста численности.

Международная практика эксплуатации промысловых ракообразных показывает, что общий допустимый улов (ОДУ) нередко устанавливается как доля от оцененного промыслового запаса. В таблице 2 представлены варианты степени эксплуатации, прогнозируемая при этом численность промыслового запаса и вылов. Алгоритм расчета позволяет выбрать стратегию управления запасом не только с учетом биологически обоснованных факторов, но и рассчитать экономический эффект таких управленческих решений. Увеличивая степень эксплуатации, мы тем самым снижаем темп роста численности запаса. При высокой степени эксплуатации (40%) на момент начала промысла получен максимальный вылов (9,5 млн. экз.),

однако через 6 лет промысла такой интенсивности вылов станет меньше, чем при его начальной эксплуатации на уровне 10-30%.

**Таблица 2.** Расчет улова (Y, млн. экз.) и промысловой численности (N, млн. экз.) при заданном уровне эксплуатации популяции краба-стригуна в Баренцевом море в 2009-2015 гг.

**Table 2.** Calculation of yield (Y, million crabs) and commercial abundance (N, million crabs) at given level of harvesting of the snow crab population in the Barents Sea in 2009-2015.

Уровень эксплуатации	10%		20%		30%		40%	
	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
2009	2,4	23,7	4,7	23,7	7,1	23,7	9,5	23,7
2010	3,6	35,8	6,6	33,0	9,1	30,3	11,0	27,6
2011	5,3	52,6	9,0	44,9	11,3	37,7	12,5	31,2
2012	7,4	74,5	11,8	58,8	13,6	45,3	13,8	34,6
2013	10,0	100,3	14,7	73,4	15,8	52,6	14,9	37,2
2014	12,8	128,3	17,7	88,5	17,8	59,3	15,4	38,4
2015	15,4	153,9	20,1	100,4	19,0	63,5	15,2	38,0

### ОБСУЖДЕНИЕ

Выявление перспектив нового промысла должно учитывать следующие аспекты, на которых формируются научно обоснованные прогнозы реакции популяции на выбор того или иного вида управления:

- 1) продукционный потенциал популяции при различном уровне ее численности;
- 2) экологическая емкость среды;
- 3) допустимые уровни воздействия промысла на начальных этапах его развития.

Биологические показатели гидробионтов на начальном этапе развития промысла могут дать очень полезную информацию о состоянии так называемой «девственной», т.е. неэксплуатируемой популяции. В соответствии с традиционной теорией рыболовства (Баранов, 1918; Schaefer, 1954; Засосов, 1970; Рикер, 1979), запас до начала промысла имеет максимальную численность, которая соответствует емкости среды ( $K$ ), и находится в квазистационарном состоянии. Однако в данном случае популяция краба-стригуна в Баренцевом море не может быть рассмотрена с этих позиций. Очевидно, что процессы натурализации являются в настоящее время базовыми факторами при выявлении перспектив промысла, а также играют решающую роль в формировании уровня биомассы. Количественная оценка динамики численности такой формирующейся популяции с учетом возможного промыслового воздействия крайне непростая задача, решение которой, в любом случае, будет основываться на некой прогностической модели, независимо от того, сформулирована она явно или нет. Основная цель такой оценки – выйти за пределы очевидных качественных предсказаний и максимально ясно представить алгоритм количественной оценки с учетом опытных данных, экспертных мнений и теоретических аспектов рыбопромысловой науки. Моделирование в нашем случае будет являться средством, позволяющим установить взаимосвязи между теоретическими аспектами и опытом. Теоретические аспекты – это теория роста популяции (Одум, 1986) и традиционная теория рыболовства. Опыт – исходные данные по съемкам и приловам, а также литературные данные по биостатистическим показателям популяций краба-стригуна из районов Северо-западной Атлантики. Объединение данных разного происхождения в одной модели стало возможным с применением байесовского подхода и рядом следующих допущений:

1) при отсутствии промысла численность популяции должна возрастать до этапа полной натурализации, т.е. достижения некоего предела, соответствующего экологической емкости среды ( $K$ );

2) при полной натурализации продукционные способности запаса будут соответствовать уровню удельной продукции запасов краба-стригуна Северо-западной Атлантики;

3) колебания параметров окружающей среды не будут существенно влиять на скорость достижения теоретически предельного уровня численности.

Необходимо сказать, что в нашу задачу при построении модели не входило точное предсказание количественных характеристик популяционных параметров заблаговременностью в несколько лет, но, скорее, выявление общих тенденций или трендов динамики основных переменных, анализ чувствительности результатов по отношению к различным заложенным в модель предположениям. Для достижения этого существенным является не столько точное количественное определение всех параметров модели, сколько правильный учет причинно-следственных связей системы и обоснованность данных допущений.

Первое допущение о предельном росте популяционной численности при отсутствии промысловой смертности имеет под собой обширную теоретическую и практическую основу. Результаты многочисленных экспериментов по акклиматизации в пределах морских и пресноводных водоемов бывшего Советского Союза позволили А.Ф. Карпевич сформулировать теорию, в соответствии с которой акклиматизация переселенца считается успешной, если его численность по прошествии некоторого времени станет соответствовать некой приемной емкости среды или  $K$  (Карпевич, 1975; Карпевич, Горелов, 1995). Результаты проведенного исследования показали, что основания допустить, что натурализация этого вида в Баренцевом море идет, в соответствии с этой теорией, имеются.

Второе допущение о продукционных возможностях популяций краба разных регионов основывается на предпосылке о том, что существует некая часть Баренцева моря, на акватории которой так называемое «сопротивление среды» (Одум, 1986) имеет сходные параметры с акваториями нативных популяций. Предполагается, что на этих акваториях популяции подвергаются одинаковым как абиотическим, так и биотическим факторам. Также делается допущение о том, что потенциальные кривые роста этих популяций имеют близкие параметры. Предположения о наличии приемной экологической емкости, достаточной для формирования промыслового запаса краба-стригуна в Баренцевом море, высказывали Ю.И. Галкин (1985), В.А. Павлов и А.М. Соколов (2003), а также С.А. Кузьмин (2006). Эти предположения основывались на сходных с ареалами нативных популяций батиметрических, трофических и гидрологических условиях. Также строились предположения о том, что будущий суммарный вылов краба-стригуна в Баренцевом море может превысить таковой камчатского краба, который в настоящее время превышает 10 тыс. т (Кузьмин, 2006). Мы приняли такую же точку зрения и попытались количественно определить емкость среды  $K$  и параметр формы кривой «запас-пополнение» ( $m$ ).

Для определения емкости среды были использованы литературные данные о биологии и промысле краба-стригуна на Большой Ньюфаундлендской банке (БНБ) за 1997-2001 гг. (Dawe et al., 2001). Преимущество такого сравнения заключалось в том, что донные траловые съемки на БНБ и в Баренцевом море проводятся одним и тем же орудием лова (Camptelen 1800) с одинаковыми параметрами тралений.



Предполагается, что предельная плотность распределения краба-стригуна в Баренцевом море может достичь максимальных плотностей, регистрируемых в отдельные годы в отдельных районах БНБ. Так в отдельные годы на БНБ в районах с максимальной концентрацией стригуна средний улов промысловых крабов на траление составлял 4,50 кг. В Баренцевом море во время съемок 2006-2007 гг. этот показатель был на уровне 44-50 г, т.е. на два порядка ниже, чем на БНБ. Учитывая вышеизложенное, можно предположить, что при благоприятных условиях максимальная плотность поселения промысловых самцов в Баренцевом море может увеличиться приблизительно на 2 порядка. Для перехода с плотностных, т.е. относительных величин (кг/траление) на абсолютную биомассу и численность необходимо знать площадь акватории, для которой рассчитывается  $K$ , и коэффициент улавливаемости  $q$ , который выражает отношение относительной численности, рассчитанной по съемке, к реальной величине численности.

В популяциях высших животных, имеющих сложные жизненные циклы и длительный период индивидуального развития процессы натурализации в сложных открытых системах, какой является Баренцево море, могут занимать весьма длительный период (Одум, 1986). Учитывая то, что цели настоящего исследования затрагивают ограниченный прогностический период (5-10 лет), мы рассчитали  $K$  для той акватории, на которой в настоящее время регистрируется краб-стригун (530 тыс. кв. км), допуская, что расчетная площадь акватории и величина  $K$  могут быть пересмотрены в последующие годы. Учитывая то, что плотности промысловых скоплений в районах БНБ варьировали в диапазоне 0,8-4,5 кг/траление, расчетная площадь ареала баренцевоморской популяции составляет 530 тыс. кв. км, а средний вес промыслового краба в Баренцевом море в настоящее время составляет 540 г, индекс запаса в пределах этой акватории может составить 35-200 млн. экз. Принимая во внимание отсутствие каких-либо литературных и экспериментальных данных об уловистости трала Sampelen по отношению к крабу-стригуну, было сделано допущение о том, что коэффициент улавливаемости  $q_s$ , с высокой долей вероятности, не должен превышать 0,25-0,35. По информации В.В. Мирошникова (1988) коэффициент уловистости для донного трала (тип 32 м) составляет  $0,3433 \pm 0,0819$ . Неопределенность  $q_s$  по отношению к акватории, на которой производится оценка запаса, должна быть соответственно гораздо выше. Принимая во внимание выше изложенное, параметры  $K$  и  $q$  были включены в априорную модель системы как малоинформативные прайеры со следующими характеристиками:

1) искомая величина  $K$  принадлежит множеству возможных значений, описываемых гамма-распределением, значение которого с 95% вероятностью находится в интервале 50-1 700 млн. экз.;

2) искомая величина  $q_s$  принадлежит множеству возможных значений описываемых лог-нормальным распределением, значение которого с 95% вероятностью находится в интервале 0,01-0,4.

Третье допущение – о состоянии окружающей среды было сделано на основании долгосрочных гидрологических прогнозов ученых ПИНРО с заблаговременностью 10-15 лет. Нет оснований считать, что в прогнозируемый период будут наблюдаться резкие колебания в температурном режиме Баренцева моря (Бочков, 2005). Допускается, что благоприятные условия для роста численности краба-стригуна сохранятся как минимум до 2014-2015 гг.

Результаты использования модели показали, что медианному значению  $K = 400$  млн. экз. соответствует MSY равный 67 млн. экз. Прогностические оценки

показали, что при отсутствии промысла численность равная  $B_{msy}$  может быть достигнута в 2014-2015 гг. и с 50% вероятностью максимальный, устойчивый вылов может составить 40-100 млн. экз. или 20-50 тыс. т. Учитывая, что параметры модели и допущения были выбраны крайне осторожно, реальные продукционные способности запаса могут быть значительно выше. Так ежегодный вылов со сравнительно небольшой акватории БНБ (около 300 тыс. кв. км) в 1986-2004 гг. составлял от 10 до 50 тыс. т, что свидетельствует о более высоком продукционном потенциале этого региона. По всей видимости, оцененный нами  $K$  несколько занижен в сравнении с продукционными возможностями нативных популяций. Однако в настоящее время, опираясь на наши данные и литературные источники, нет основания к пересмотру величины этого параметра. Очевидно, что в данном случае роль оценки запаса не заключается в определении наилучшего значения  $K$ , а состоит в оценке динамики промысловой популяции, и ее возможной реакции на промысел и факторы окружающей среды. Расчет научно обоснованной величины вылова при открытии промысла может строиться на предложенном в настоящей работе алгоритме, однако в последующем параметры модели, а возможно, и сам алгоритм должны будут меняться в соответствии с реакцией популяции на промысел.

В настоящее время не существует метода точной оценки параметров эксплуатируемой популяции, если в истории ее эксплуатации не существовало периода, называемого обычно состоянием перелома. Невозможно рассчитать максимум кривой «улов – усилие» или «прибавочная продукция – биомасса» без существенного перелома запаса. Т.е., чтобы определить максимальную продукцию запаса, необходимо в значительной степени перейти границы максимума этой кривой (Hilborn, Walters, 1992; Хилборн, Уолтерс, 2001). Одним из принципов рационального управления может стать планомерное изменение степени промысловой эксплуатации, в зависимости от биологических и экономических откликов с тем, чтобы найти наилучший количественный выбор методом моделирования возможных стратегий управления.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс натурализации краба-стригуна опилио в Баренцевом море к настоящему моменту не завершен. Наблюдается рост его численности и расширение ареала. Анализ расчетов показал, что при отсутствии промысла и существующем темпе роста популяции биомасса, равная биомассе максимального устойчивого вылова, может быть достигнута к 2014-2015 гг. Возможный ежегодный вылов стригуна при открытии промысла в эти годы может составить 20-50 тыс. т. Большие неопределенности в оценке возможного промыслового запаса позволяют лишь в первом приближении анализировать динамику запаса и производить риск-анализ последствий возможных стратегий управления. Адаптация опыта эксплуатации нативных запасов этого вида и результаты исследований показали удовлетворительные перспективы для использования стохастической версии продукционной модели, как инструмента для оценки динамики запаса, отслеживания реакции популяции на промысел, оценки ОДУ и ориентиров управления для баренцевоморского запаса краба-стригуна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аксютина З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищевая промышленность, 1968. 289 с.

Баранов Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Изв. отдела рыбоводства и научно-промысловых исследований. Петроград, 1918. Т. 1. С. 84-128.

Бочков Ю.А. Крупномасштабные колебания температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» и их прогнозирование // Сб. докл. Международного симпозиума. Мурманск: ПИНРО, 2005. С. 47-64.

Галкин Ю.И. К вопросу об увеличении промысловой продуктивности Белого и Баренцева морей путем акклиматизации. Сб. Экологические исследования перспективных объектов марикультуры в Белом море. Л.: АН СССР. Зоологический институт. 1985. С. 122-133.

Засосов А.В. Теоретические основы рыболовства. М.: Пищевая промышленность, 1970. 147 с.

Карневич А.Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов. М.: Пищевая промышленность, 1975. 432 с.

Карневич А.Ф., Горелов В.К. Некоторые теоретические аспекты и результативности акклиматизации гидробионтов. Сб. Результаты работ по акклиматизации водных организмов. СПб., 1995. С. 5-15.

Кузьмин С.А. Вселение краба-стригуна опилио в Баренцево море и перспективы развития популяции // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами. Сб. мат. Межд. конф. (25-29 сентября, 2006 г.). Мурманск: КНЦ РАН, 2006. С. 58-60.

Кузьмин С.А., Ахтарин С.М., Менис Д.Т. Первые находения краба-стригуна *Chionoecetes opilio* (Decapoda, Majidae) в Баренцевом море // Зоологический журнал. 1998. Т. 77. №4. С. 489-491.

Мирошников В.В. Предварительные данные по коэффициенту уловистости орудий лова для донных промысловых беспозвоночных // Сырьевые ресурсы и биологические основы рационального использования промысловых беспозвоночных. Тез. докладов. Всесоюз. совещ. Владивосток, 1988. С. 41-42.

Одум Ю.П. Экология: в 2-х т. М.: Мир, 1986. 376 с.

Павлов В.А., Соколов А.М. К биологии краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) в Баренцевом море // Сб. Донные экосистемы Баренцева моря. М.: ВНИРО, 2003. С. 144-150.

Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. Пер. с англ. М.: Пищевая промышленность, 1979. 408 с.

Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО, 1979. 59 с.

Хилборн Р., Уолтерс К. Количественные методы оценки рыбных запасов. Выбор, динамика и неопределенность. СПб.: Политехника, 2001. 228 с.

Bakanev S.V. On the Possibility of Using Bayesian Approach to Assess the Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Stock in the Barents Sea and Spitzbergen // NAFO SCR Doc. 06/070. 2006. №5195. 7 p.

Bayes T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances // Philosophical Transactions of the Royal Society. Reprinted in: Biometrika. 1958. V. 45. Pp. 293-315.

Dawe E.G., H.J. Drew P.C., Beck P.J., Veitich R.T., Warren R.L. Costigan An assessment of Newfoundland and Labrador snow crab in 2000 // Canadian Science Advisory Secretariat. Research Document 2001/087. 2001. 27 p.

Doubleday W.G. Manual on groundfish survey in the Northwest Atlantic. NAFO Sci. Coun. Studies. 1981. 2. 55 p.

Gilks W.R., Thomas A., Spiegelhalter D.J. A language and program for complex Bayesian modeling // Statistician. 1994. V. 43. 178 p.

*Hilborn R., Walters C.J.* Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. New York: Chapman & Hall, 1992. 570 p.

*Hvingel C., Kingsley M.C.S.* A framework to model shrimp (*Pandalus borealis*) stock dynamics and quantify risk associated with alternative management options, using Bayesian methods // ICES Journal of Marine Science. 2006. V. 63. Pp. 68-82.

*Pella J.J., Tomlinson P.K.* A generalized stock production model // Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission. 1969. V. 13. Pp. 419-496

*Richards F.J.* A flexible growth function for empirical use // J. Exp. Bot. 1959. V. 10. Pp. 290-300.

*Schaefer M.B.* Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries // Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 1954. №1. Pp. 25-56.

*Spiegelhalter D.J., Thomas A., Best N.* WinBUGS version 1.3 User Manual. MRC Biostatistics Unit, Inst. of Public Health, Cambridge. England. 2000. 128 p.

### **MODELLING THE ABUNDANCE DYNAMICS OF SNOW CRAB (*CHIONOECETES OPILIO*) IN THE BARENTS SEA**

© 2010 y. S.V. Bakanev, V.A. Pavlov

*Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Murmansk*  
Abundance of snow crab in the Barents Sea has been calculated for 1996-2007 using a stochastic production model based on the indices resulted from trawl surveys and on expert evaluations of snow crab by-catches in bottom trawling for fish. The modelling results showed that at the abundance conforming to ecological capacity of 400 million crabs, the Maximum Sustainable Yield (MSY) may achieve 67 million crabs.

*Key words:* snow crab, modelling of dynamics of abundance, Barents Sea.