

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 595.384.2–152.6.08 (268.45)

**ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОМЫСЛОВОГО РАЗМЕРА  
КАМЧАТСКОГО КРАБА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

© 2015 г. С. В. Баканев, Ю. А. Ковалев

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства  
и океанографии, Мурманск, 183038  
E-mail: bakanev@pinro.ru*

Поступила в редакцию 19.05.2015 г.

Оценка оптимального промыслового размера камчатского краба в Баренцевом море была выполнена в рамках концепции максимального устойчивого улова, который может достигаться при различных уровнях промысловой эксплуатации и величинах минимального промыслового размера. В рамках имитационной модели рассчитано, что при максимально допустимом уровне промысловой эксплуатации в 30%, принятом для камчатского краба Баренцева моря, оптимальная промысловая мера (минимальный допустимый размер промысловых самцов) должна соответствовать 170 мм ширины его карапакса. В настоящее время при промысле краба в Баренцевом море применяется промысловая мера 150 мм. Целесообразность увеличения промысловой меры становится очевидной только при условии включения в расчеты экономического показателя (стоимости продукции), а также принятия ряда допущений, в частности, выбора зависимости запас—пополнение и величины травматической смертности.

**Ключевые слова:** камчатский краб, Баренцево море, оптимальный промысловый размер, имитационное моделирование.

**ВВЕДЕНИЕ**

При решении оптимизационных задач регулирования рыболовства рациональный промысловый режим устанавливается, исходя из научно обоснованной стратегии эксплуатации данного запаса и оценки его текущего состояния (Бабаян, 2000). Стратегия эксплуатации камчатского краба в Баренцевом море была выработана в рамках Смешанной российско-норвежской комиссии (СРНК) в конце XX в., до начала его промышленного лова (Герасимова, Кузьмин, 1997). Управление промыслом в настоящее время по существу сводится к двум главным регулирующим подходам: 1) регулированию по размеру и полу (запрет лова самок, а также самцов менее 150 мм по ширине карапакса) и 2) регулированию интенсивности промысла на основании общего допустимого улова (ОДУ).

Выбор используемой в настоящее время промысловой меры был основан на опыте эксплуатации популяций тихоокеанского региона и базировался на интуитивном подходе, предполагающем, что для благополучного существования популяции необходимо дать самцам поучаствовать в нересте минимум два раза до начала их промысла. Такая стратегия является версией подхода Бэра (1961), когда промысловая мера подбирается так, чтобы обеспечить каждой особи возможность хотя бы однократного нереста.

Применение подхода, описанного Бэром, оправдано на начальном этапе регулирования промысла, когда о запасе и его биологических и промысловых характеристиках мы имеем слабое представление ввиду низкой информационной обеспеченности. Такой подход вызывает обоснованные вопросы: почему особь должна отнереститься мини-

мум один раз, а не два, три или четыре раза? Кроме того, данный подход предполагает регулирование только одного из параметров промысла — возраста особи в момент вступления ее в эксплуатацию, но никак не регламентирует другой показатель — интенсивность промысла. В результате возможно нерациональное использование запасов: при низкой интенсивности промысел будет находиться в фазе экономического недолова, при высокой — в фазе экономического перелова, который может перейти в перелов биологический (Шибаяев, 2007).

Как показано выше, регулирование интенсивности промысла в настоящее время происходит на основании установки ОДУ, оценка которого может базироваться на результатах разнообразных экспертных и количественных методов. Первоначальный выбор уровня рекомендованного ОДУ (25% от оцененного промыслового запаса) для баренцевоморской популяции камчатского краба в начальный период ее исследования (1994—2001 гг.) был основан на историческом опыте эксплуатации дальневосточных популяций (Герасимова, Кузьмин, 1997). Фактически доля изъятия не была научно обоснована, а ее последующий выбор предполагал планомерное изменение в зависимости от биологических и экономических откликов с тем, чтобы найти наилучший количественный выбор эмпирическим методом проб и ошибок. Однако с 2003 г. долю изъятия стало возможно определять с помощью аналитического метода, используя модели CSA (catch survey analysis) и LBA (length-based analysis) (Баканев, 2003). Переход от экспертного метода определения ОДУ к аналитической процедуре стал возможен благодаря накопленным рядам данных, собранных в ходе выполнения траловых съемок, и анализу промысловой статистики.

Применение аналитических методов к оценке промыслово-биологических показателей запаса камчатского краба также дало возможность проверить численными методами обоснованность первоначального выбора промысловой меры. Для реше-

ния этой задачи была выбрана концепция максимального устойчивого улова, который может достигаться при различных уровнях промысловой эксплуатации и величине минимального промыслового размера (Ковалев, 2006). При этом оптимальный промысловый размер был определен на основе анализа эффективности управления запасом с помощью имитационного моделирования динамики популяции и промысла камчатского краба.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

*Данные по траловым съемкам.* Материалом для работы служили результаты количественного учета камчатского краба в Баренцевом море, выполненного в 1994—2008 гг. в ходе 16 осенних траловых съемок, а также 22 научно-промысловых рейсов. В последние годы (2009—2014 гг.) траловых съемок не проводилось, поэтому этот период в расчетах не участвовал. Основой для оценки популяционной численности стали уловы 1481 траловых станций исследовательских съемок, в которых 37345 особей были взяты на биологический анализ. Было проанализировано свыше 60 тыс. особей камчатского краба из научно-промысловых рейсов, из них биологическому анализу подверглось 27 тыс. экземпляров. В качестве основного показателя размера краба была принята ширина карапакса (ШК). Однако на этапе имитационного моделирования использовали длину карапакса (ДК), которая в меньшей степени подвержена ошибкам измерения по сравнению с ШК (Powell, 1967).

Сбор и обработку биологического материала в съемках выполняли в соответствии с методиками, принятыми в ПИНРО (Инструкции ..., 2001). Расчеты индексов численности по стратам и районам выполняли согласно стандартной методике (Cochran, 1963), принятой в ПИНРО, и производили отдельно по полу, стадиям линьки и размерным группам с интервалом в 10 мм.

*Промысловые данные.* Объем вылова вычисляли по ежесуточным донесениям,

поступающим со всех промысловых судов в Центр системы мониторинга рыболовства и связи. Информацию о половом и размерно-возрастном составе уловов собирали наблюдатели на борту промысловых судов (Инструкции ..., 2001). В процессе подготовки к оценке запаса массовые промеры объединяли по районам.

Завершающим этапом подготовки массивов данных о промысле являлась оценка общего фактического вылова. В работе использовали вылов с учетом нелегального. Нелегальный вылов учитывал браконьерские выгрузки на внутренний рынок и, согласно литературным источникам, составлял не менее 0,4 млн экз. в 2003–2004 гг. (Сokolov, 2005). Также была оценена величина экспорта краба в США российским флотом в 2005–2009 гг. по данным статистического отдела Национальной морской рыболовной службы правительства США. Средняя величина экспорта краба Россией в США в 1997–2004 гг. составила около 10 тыс. т в год. В 2005 г. экспорт увеличился на 70% и превысил среднегодовую величину на 7 тыс. т, что с учетом среднего веса промыслового краба (4,5 кг) и переходного технологического коэффициента (65%) (Степаненко, Двинин, 2006) составляет 2,6 млн крабов. Учитывая современное состояние ресурсов камчатского краба в дальневосточных морях (Долженков, Болдырев, 2006), можно допустить с достаточной степенью уверенности, что скачок в российском экспорте камчатского краба в США обусловлен поставками баренцево-морского краба с открытием его коммерческого промысла.

*Моделирование динамики запаса в 1994–2008 гг.* Для оценки запаса и динамики численности использовали когортную модель ЛВА, основанную на динамике численности 12 размерных групп (Zheng et al., 1995).

Моделирование численности самцов камчатского краба с новым и старым карапаксом происходит отдельно, при этом допускается, что естественная смертность у крабов всех размерных групп одинаковая.

Сокращенный вид модели можно выразить через два основных уравнения:

$$N_{l+1,t+1} = \sum_{l'=l+1}^{l'+l+1} \{ [P_{l',t+1} \times (N_{l',t} + O_{l',t}) \times e^{-M} - C_{l',t} e^{(y-1)M}] \times m_{l',t} \times e^{nl} \} + R_{l+1,t+1} \text{ и}$$

$$O_{l+1,t+1} = [(N_{l+1,t} + O_{l+1,t}) \times e^{-M} - C_{l+1,t} \times e^{(y-1)M}] \times (1 - m_{l+1,t}) \times e^{ol},$$

где  $N_{l,t}$  — численность крабов с новым карапаксом в размерной группе  $l$  и году  $t$ ;  $O_{l,t}$  — численность крабов со старым карапаксом в размерной группе  $l$  и году  $t$ ;  $M$  — коэффициент естественной смертности;  $m_{l,t}$  — вероятность линьки крабов размерной группы  $l$  в году  $t$ ;  $R_{l,t}$  — пополнение размерной группы  $l$  в году  $t$ ,  $y$  — временная задержка от момента съемки до средней даты периода промысла;  $P_{l',l}$  — пропорция линяющих крабов группы  $l'$  после одной линьки, достигающих группы  $l$ ;  $C_{l,t}$  — вылов крабов группы  $l$  в году  $t$ ,  $nl$  и  $ol$  — ошибки наблюдений, априорные распределения которых равны обратному  $\gamma$ -распределению с модами коэффициентов вариации индексов  $N_{l,t}$  и  $O_{l,t}$ , полученных по съемкам. Учитывая, что съемки выполняются в конце года, допущение о межлиночном периоде крабов делалось на основании исследований российских и американских ученых (Zheng et al., 1995; Левин, 2001). Предполагалось, что крабы с экзоскелетом на стадии линьки 1 и 2 линяли в течение текущего года (крабы с новым экзоскелетом), а крабы с экзоскелетом на стадии линьки 3 и 4 — в течение предыдущих лет (крабы со старым экзоскелетом).

Были определены 12 размерных групп с интервалом 10 мм по ДК. Из-за низкой облавливаемости молодых особей для первой размерной группы был установлен минимальный размер 90 мм по ДК. В последнюю группу входят самцы с размерами  $\geq 200$  мм.

Коэффициент улавливаемости ( $q$ ) для разных размерных групп функционально

зависит от размеров крабов, входящих в эти группы (Zheng et al., 1995, Баканев, 2003). Отношение индексов к абсолютной численности групп обозначалось уравнением улавливаемости для каждой размерной группы:

$$q_{90} = CL90_t \times (1 / a \times e^{-b \times 90})$$

...

$$q_{200} = CL200_t \times (1 / a \times e^{-b \times 200}),$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты,  $CL90_t, \dots, CL200_t$  — численности групп по модели, которые рассчитываются как:

$$CL90_t = N_{90,t} + O_{90,t},$$

...

$$CL200_t = N_{200,t} + O_{200,t}.$$

*Имитационное моделирование для определения оптимального промыслового размера.* Расчеты оптимальной величины промысловой меры «минимальный промысловый размер» для самцов камчатского краба выполнены в рамках модели LBA, описанной выше (Zheng et al., 1995) с помощью имитационной модели динамики численности общего и промыслового запасов самцов камчатского краба. Под общим запасом камчатского краба в Баренцевом море в данной работе понимаются половозрелые самцы с ДК более 90 мм, распределяющиеся в период промысла в районах, доступных для лова краба. Под промысловым запасом камчатского краба при имитационном моделировании понимаются половозрелые самцы с длиной карапакса более установленного в расчетах минимального промыслового размера, варьирующего от 90 до 200 мм по ДК.

Стартовым годом имитационной модели динамики численности промысловой популяции краба был принят последний год в модели оценки запаса — 2008-й. Расчеты динамики численности и вылов краба в имитационной модели выполнены на 100 лет вперед с шагом 1 год. Анализируемые характеристики популяции усреднялись для

последних 50 лет для исключения влияния на результат стартовых значений. Проверку модели на чувствительность к стартовым значениям численности популяции проводили при их увеличении/уменьшении в три раза, проверка подтвердила независимость полученных результатов.

Моделирование пополнения промыслового запаса. Динамика пополнения промыслового запаса камчатского краба за период 1998–2008 гг. была оценена в рамках модели LBA.

В имитационной модели анализировались три различных варианта пополнения промыслового запаса.

1) Постоянное пополнение для всего 100-летнего моделируемого периода. Пополнение равно среднему, оцененному по модели LBA за период 1998–2008 гг., поскольку к 1998-му г. численность популяции краба выросла и запас приобрел промысловое значение.

2) Переменное пополнение, имитирующее наблюдаемую квазипериодическую динамику. Было принято, что два высокоурожайных пополнения (среднее для 2000, 2001, 2005, 2006 гг.) сменяются тремя неурожайными (среднее остальных лет для периода 1998–2008 гг.).

3) Переменное пополнение с динамикой, аналогичной наблюдаемой. В данном варианте численность пополнения за период 1998–2008 гг. последовательно копировалась для остальной части временного ряда начиная с 2009 г.

Моделирование промыслового изъятия и естественной смертности. Расчеты были выполнены с учетом различной величины промысловой меры, косвенной промысловой и естественной смертности при допущении, что производство готовой продукции осуществляется в виде глазированных варено-мороженных комплектов конечностей краба с навеской 500–700, 700–900, 900–1100 и >1100 г.

Для оценки влияния минимального промыслового размера краба на величину среднесного вылова были выполне-



ны расчеты при различных значениях этой промысловой меры в диапазоне 90–200 мм с шагом 10 мм. Кроме того, в модели задавался определенный уровень промыслового изъятия в диапазоне 10–90% с шагом 10%, который принимался постоянным для всего моделируемого периода. Распределение промысловой смертности было принято равномерным, т.е. задавался одинаковый уровень изъятия для всех размерно-возрастных групп.

Расчеты выполнены также с учетом разного уровня травматической промысловой смертности, которая принималась равной доле погибших непромысловых самцов в ходе возвращения их в море после сортировки улова на борту. Известно, что, хотя маломерных самцов и самок при промысле возвращают в море в живом виде, позже часть особей погибает из-за травм, полученных в результате различных манипуляций на палубе, воздействия на организм животных резкой смены температуры и давления, неизбежных при подъеме крабов на палубу и при спуске в воду, а также из-за изменений состава микрофлоры в гемолимфе крабов после их возвращения в море (Laist, 1996; Zhou, Shirley, 1996; Иванов, Соколов, 2004; Рязанова, 2009). Исследования отечественных ученых показали значительный разброс данных о травматической смертности крабов: от 0 до 50%. Однако смертность при однократном подъеме была не столь вариативна и составляла порядка 2–7%. Исследования в Баренцевом море показали, что смертность промысловых самцов при однократном подъеме составила около 3,5% (Сенников, 2013).

В основу наших расчетов положено допущение о том, что доля погибших непромысловых крабов может составлять от 5 до 20%. Для этого в модели задавали различный уровень косвенной смертности с шагом 5.

Коэффициент естественной смертности для крабов младших и средних размерно-возрастных групп с ДК 90–160 был оценен по модели CSA и составил 0,16 (Баканев, 2009), а для крабов > 170 мм по ДК он принимался значительно выше — 0,7 (Reeves, Marasco, 1980).

Для определения общей стоимости улова при расчете экономического эффекта от различных управленческих решений использовали зависимость веса комплектов глазированных варено-мороженых конечностей от ДК камчатского краба, полученную А.В. Васильевым (ПИНРО) в декабре 2009 г. на промысловом судне «Петр Анохин» при анализе 178 животных. Далее в соответствии с зависимостью вылов краба разделяли на категории продукции с различной навеской: 500–700, 700–900, 900–1100 и > 1100 г. Данные о стоимости продукции с различной навеской брали с интернет-страниц, посвященных оптовым продажам краба, и аппроксимировали таким образом, чтобы средняя цена за 1 кг готовой продукции составила 22 доллара (табл. 1).

Аппроксимация приводимых в работе зависимостей математическими функциями, статистические расчеты, построение модели динамики промысловой популяции камчатского краба Баренцева моря и моделирование промысла выполняли с помощью программных средств MS Excel.

**Таблица 1.** Стоимость готовой продукции, изготовленной из крабов разных размерно-возрастных групп, по данным из интернет-источников

Длина карапакса, мм	Стоимость 1 кг, долл.
90–99	10
100–109	11
110–119	12
120–129	13
130–139	15
140–149	17
150–159	20
160–169	23
170–179	26
180–189	26
190–199	26
≥200	26

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Выбор доли изъятия.* Моделирование оптимального промыслового размера основывалось на концепции максимального устойчивого улова, который может достигаться при различных уровнях промысловой эксплуатации и величине минимального промыслового размера. Для определения оптимального уровня эксплуатации (доли изъятия) были рассчитаны численности промыслового запаса, величины вылова и суммарные стоимости продукции при различной доле изъятия промыслового запаса (рис. 1).

Расчеты показали, что с увеличением доли изъятия величина промыслового запаса закономерно снижается. Наиболее резкое снижение численности происходит при увеличении доли изъятия от 0 до 0,5. При уровне изъятия в 20–30%, рекомендованном учеными России и Норвегии в рамках СРНК в конце XX в., величина запаса находится на уровне 20–24 млн экз.

Вылов в весовом выражении достигает максимума при 40–60% изъятии. Однако этот максимум выражен нечетко, а прирост вылова при увеличении доли изъятия свыше 30% становится очень незначительным. При различной травматической смертности и доле изъятия 0,3–0,6 вылов в среднем составляет 8,4 тыс. т.

Суммарная стоимость продукции достигает максимума при доле изъятия в 0,3–0,4. С увеличением травматической смертности максимум смещается в сторону снижения доли изъятия. При различной травматической смертности и доле изъятия 0,3–0,6 суммарная стоимость продукции в среднем составляет 95 млн дол.

Анализируя зависимость суммарного веса вылова и стоимости продукции от доли изъятия, можно сделать вывод о том, что повышение доли изъятия свыше 20–30% нецелесообразно. При разных предположениях об уровне травматической смертности максимум вылова находится при уровне изъятия 40–50%. Однако прирост вылова при увеличении доли изъятия свыше 30%

весьма незначителен, а общая и промысловая численность запаса снижается, т.е. при этом возрастает риск подрыва запаса при его неправильной оценке. Кроме того, снижение численности запаса при росте уровня изъятия будет сопровождаться соответствующим падением производительности промысла, что потребует повышения промысловых усилий для выбора квот, а значит, будет приводить к сокращению общей прибыли от эксплуатации запаса.

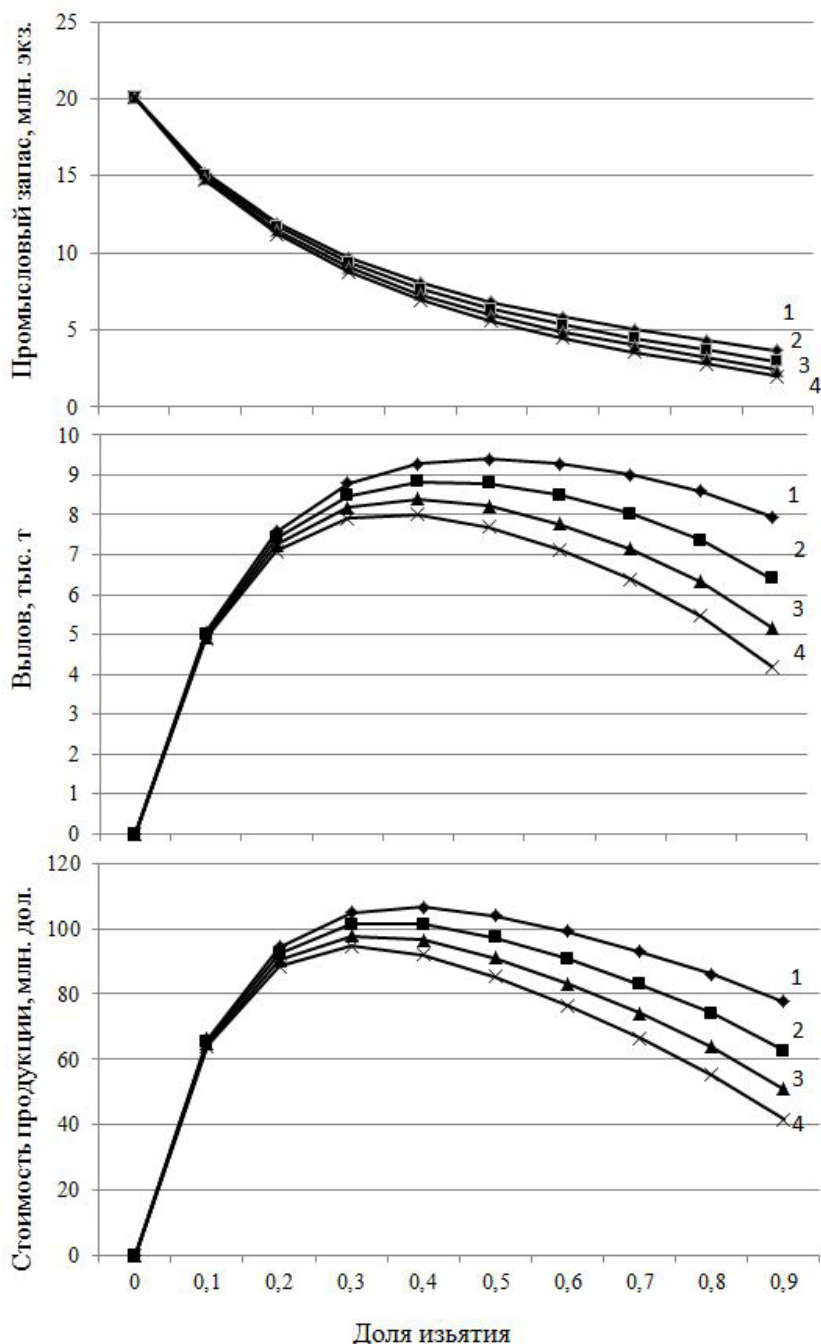
Таким образом, в качестве оптимального уровня изъятия может быть принята величина 30%. Дальнейшие расчеты оптимальной промысловой меры были выполнены для этого уровня изъятия.

*Оценка оптимального промыслового размера.* Анализ результатов моделирования динамики численности показал, что при выборе минимального промыслового размера по ШК от 100 до 210 мм общая численность запаса растет с 15 до 30 млн экз., а промысловая снижается с 15 до 0,1 млн экз. (рис. 2). Численность промыслового запаса падает при увеличении минимальной промысловой меры, поскольку при этом уменьшается число формирующих его размерных категорий крабов.

При использовании различных допущений о величине травматической смертности моделируемая численность промыслового запаса варьирует незначительно, а вариации общей численности достигают максимума при возрастании минимального промыслового размера.

Результаты анализа зависимости среднегогодового веса улова от минимального промыслового размера показывают, что максимум вылова выражен слабо и достигается при промысловой мере, равной 110–150 мм (рис. 3), в зависимости от уровня травматической смертности.

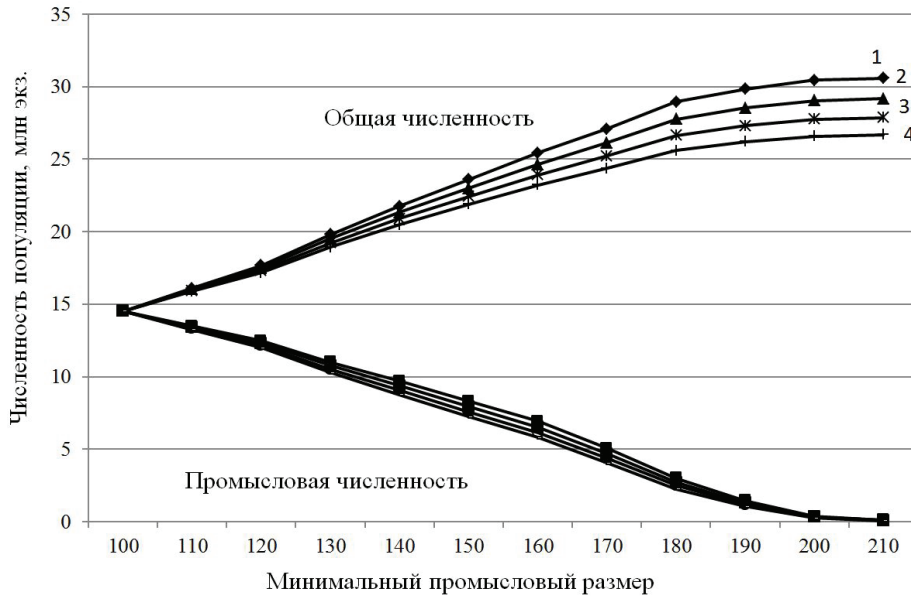
Максимум кривой стоимости при разных предположениях о травматической промысловой смертности непромысловых самцов находится на 170 мм при их 5%-ной гибели, на 160 мм — при 10–15%-ной и на 150 мм — при гибели 20% самцов. Следует отметить,



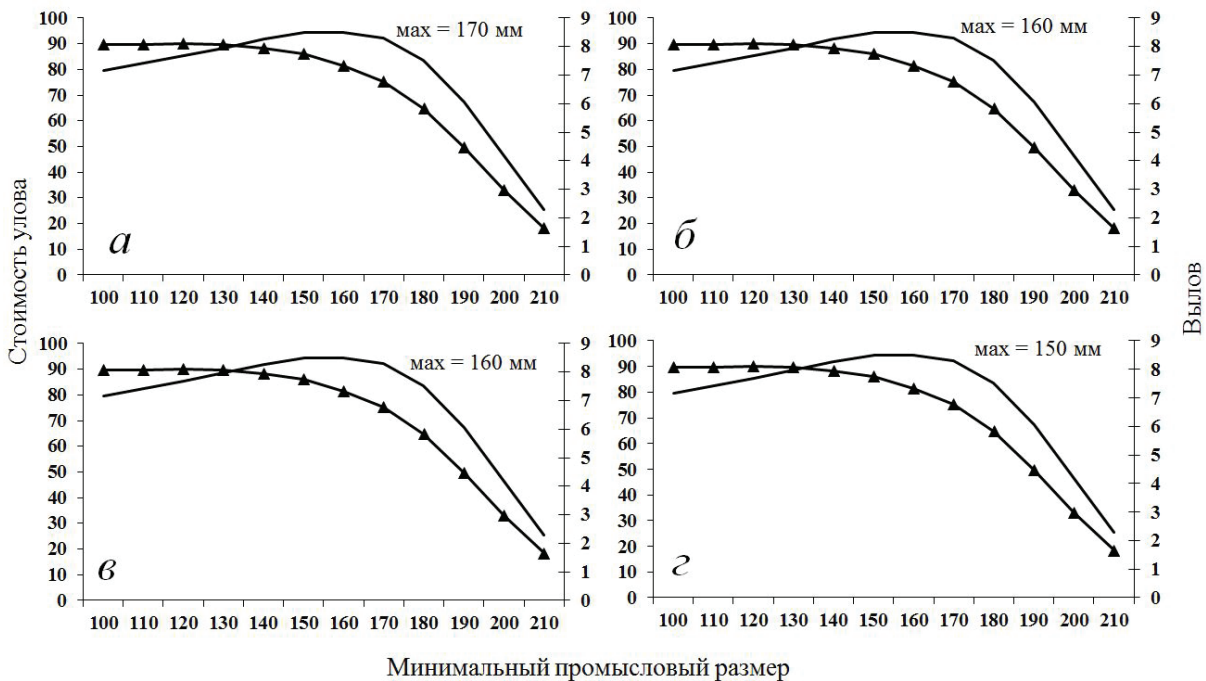
**Рис. 1.** Зависимость средних величин численности промыслового запаса, вылова и суммарной стоимости продукции от уровня эксплуатации (доли изъятия от численности промыслового запаса) при различных предположениях об уровне (1—5%-ная, 2—10%-ная, 3—15%-ная, 4—20%-ная) травматической смертности.

что максимум кривой стоимости в диапазоне от 150 до 170 мм выражен нечетко и максимальная разница стоимости при выборе минимального промыслового размера 150, 160 или 170 мм составляет всего 4%.

Таким образом оптимальная промысловая мера находится в диапазоне 150—170 мм по ШК (табл. 2). При увеличении меры «минимальный промысловый размер» общая численность запаса растет, и снижает-



**Рис. 2.** Оцененная в имитационной модели зависимость общей и промысловой численности краба от минимального промыслового размера (ШК) при разных предположениях о травматической смертности: 1—5%-ная, 2—10%-ная, 3—15%-ная, 4—20%-ная. Уровень эксплуатации (доля изъятия от численности промыслового запаса) равен 30% .



**Рис. 3.** Оцененная в имитационной модели зависимость вылова, тыс. т (▲) и стоимости среднегодовой продукции краба, млн долл. (—) от минимального промыслового размера (по ШК) при разных предположениях о травматической смертности (а — 5%, б — 10%, в — 15%, г — 20%) непромысловых самцов. Уровень эксплуатации (доля изъятия от численности промыслового запаса) равен 30%.



**Таблица 2.** Численность запаса, вылов и стоимость продукции при различных значениях промысловой меры «минимальный промысловый размер» по ширине карапакса камчатского краба в Баренцевом море по расчетам имитационной модели (принятый уровень травматической смертности — 10%, уровень эксплуатации — 30%)

Минимальный промысловый размер	Запас, млн экз.		Вылов		Стоимость продукции, млн долл.
	общий	промысловый	млн экз.	тыс. т	
100	14,0	14,0	4,5	8,0	79
110	15,3	14,0	4,2	8,1	83
120	16,6	13,0	3,9	8,2	87
130	18,0	11,9	3,6	8,3	91
140	19,7	10,6	3,2	8,3	96
150	21,2	9,4	2,8	8,3	101
160	22,7	8,2	2,5	8,0	103
170	24,1	7,0	2,1	7,6	103
180	25,5	5,5	1,7	6,6	95
190	26,8	3,9	1,2	5,2	79
200	28,0	2,3	0,7	3,6	56
210	28,6	1,2	0,3	2,1	31

ся риск его подрыва при возможной ошибке оценки или перелове квоты. Так, с увеличением промысловой меры со 150 до 170 мм по ШК численность общего запаса увеличивается на 14%. Несмотря на уменьшение численности промыслового запаса (за счет сокращения количества входящих в него размерных групп), суммарного веса улова и веса готовой продукции, с увеличением промысловой меры до 170 мм общая стоимость продукции остается на максимальном уровне.

## ОБСУЖДЕНИЕ

При уровне промысловой эксплуатации в 30%, который в соответствии с результатами моделирования может считаться оптимальным, представляется целесообразным выбрать в качестве оптимальной промысловой меры ШК краба 170 мм. Увеличение минимального промыслового размера относительно используемого в практике (150 мм)

значительно уменьшает риск критического снижения численности популяции при сохранении экономических показателей ее эксплуатации на стабильно высоком уровне.

Следует отметить, что при исключении из анализа фактора стоимости продукции оптимальная величина промысловой меры оценивается на уровне в 130–150 мм по ШК, что обеспечивает максимум вылова — 8,3 тыс. т (табл. 2).

Неопределенность в оценке запаса, т.е. точность в определении ее величины, также может существенно влиять на выбор промысловой меры. Как было показано выше, увеличение минимального промыслового размера значительно уменьшает риск критического снижения численности популяции.

Следующий фактор, который существенно влияет на оценку оптимальной промысловой меры — травматическая смертность, величина которой может влиять

на динамику как промыслового, так и нерестового запасов. В нашей работе из-за низкой точности определения численности самок по результатам траловых съемок динамика нерестового запаса в модели не учитывается. Такой упрощенный подход может существенно влиять на результаты моделирования. Кроме того, травматическая смертность может иметь высокие межгодовые колебания, например, может увеличиваться при многократном вылове непромысловых особей (Алексеев и др., 2011), что также не учитывалось в нашей модели. Такое может происходить при ведении интенсивного промысла на плотных смешанных скоплениях в прибрежных районах Баренцева моря. В таких скоплениях помимо промысловых самцов, как правило, в больших количествах присутствуют самки и молодь.

При оценке оптимального промыслового размера необходимо также учитывать параметры связи запас—пополнение. Результаты анализа различных вариантов пополнения промыслового запаса (см. раздел «Материал и методика») показали, что выбор любого из трех гипотетических вариантов пополнения не влияет существенно на результаты имитационного моделирования. Стоит отметить, что в данных расчетах гипотетический выбор динамики пополнения не учитывает его связь с запасом. В настоящее время короткий ряд наблюдений не позволяет функционально описать зависимость запас—пополнение для баренцевоморской популяции камчатского краба, что существенно увеличивает неопределенность оценок параметров в ходе имитационного моделирования. Кроме того, прекращение траловых съемок, т.е. снижение уровня информационного обеспечения в последние годы, уменьшает вероятность аналитической оценки такой зависимости в ближайшей перспективе.

Таким образом, в рамках имитационной модели динамики численности и промысла камчатского краба можно определить оптимальный промысловый размер и уровень изъятия. Однако целесообразность увеличения промысловой меры со 150 до 170 мм

неочевидна, и для получения более надежной оценки оптимальной величины минимального промыслового размера необходимо увеличение ряда наблюдений и дополнительный сбор материала для оценки величины доли изъятия, уровней травматической смертности и параметров зависимости запас—пополнение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исходных данных и модельных расчетов показал, что аналитическая оценка оптимального промыслового размера камчатского краба в Баренцевом море может быть выполнена, хотя и с учетом существенных допущений. Анализ результатов моделирования показал, что оптимальная промысловая мера находится в диапазоне 150—170 мм по ШК. При увеличении промысловой меры общая численность запаса растет, снижается риск его подрыва при возможной ошибке оценки или превышении квоты.

При максимально допустимом уровне промысловой эксплуатации в 30% оптимальная промысловая мера для камчатского краба должна соответствовать 170 мм ширины его карапакса. Увеличение минимального промыслового размера до 170 мм значительно уменьшает риск критического снижения численности популяции при сохранении экономических показателей ее эксплуатации на стабильно высоком уровне.

Целесообразность такого увеличения очевидна только при условии включения в расчеты экономического показателя (стоимость продукции), а также принятия ряда допущений, в частности, о правильности выбора зависимости запас—пополнение и величины травматической смертности. Для получения более надежной оценки оптимального промыслового размера необходимо повышение уровня информационного обеспечения запаса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Д. О., Буяновский А. И., Моисеев С. И. Учет косвенной промысло-

- вой смертности некоторых ракообразных при прогнозировании их численности // Тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. «Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки». Южно-Сахалинск: Изд-во СахНИРО, 2011. С. 126–127.
- Бабаян В. К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.
- Баканев С. В. Оценка запаса камчатского краба в Баренцевом море с использованием модели CSA // Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. С. 232–245.
- Баканев С. В. Проблемы оценки запаса и регулирования промысла камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в Баренцевом море // Вопр. рыболовства. 2009. Т. 10. № 1 (37). С. 51–63.
- Бэр К. М. Материалы для истории рыболовства в России и в принадлежащих ей морях // Очерки по биологическим основам рыбного хозяйства. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 240 с.
- Герасимова О. В., Кузьмин С. А. Предложения к управлению запасом камчатского краба в Баренцевом море // Исследования промысловых беспозвоночных в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. С. 59–64.
- Долженков В. Н., Болдырев В. Э. Современное состояние ресурсов камчатского краба в дальневосточных морях России // Тез. докл. VII Всерос. конф. по промысл. беспозвоночным. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. С. 71–72.
- Иванов Б. Г., Соколов В. И. Смертность крабов в ловушках: камчатский краб у Западной Камчатки // Вопр. рыболовства. 2004. Т. 4. № 1 (13). С. 116–134.
- Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в районах исследований ПИНРО. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2001. 291 с.
- Ковалев Ю. А. Оценка максимального устойчивого улова северо-восточной арктической трески // Там же. 2006. Т. 7. № 2 (26). С. 251–266.
- Левин В. С. Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*. Биология, промысел, воспроизводство. СПб.: Ижица, 2001. 198 с.
- Рязанова Т. В. Развитие у крабов бактериальных инфекций и газо-пузырьковой болезни вследствие подъема в ловушках // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2009. Вып. 13. С. 95–100.
- Сенников А. М. Предварительные данные о выживаемости камчатского краба при ловушечном промысле в Баренцевом море // Биологические ресурсы промысла у берегов Мурманска. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2013. С. 26–31.
- Соколов В. И. Промысел камчатского краба в Баренцевом море (Возможные варианты развития событий) // Рыб. ресурсы. 2005. № 2. С. 35–38.
- Степаненко В. В., Двинин М. Ю. Коэффициенты расхода сырья при выпуске продукции из камчатского краба Баренцева моря // Тез. докл. VII Всерос. конф. по промысл. беспозвоночным. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. С. 87–88.
- Шубаев С. В. Промысловая ихтиология. СПб.: Проспект Науки, 2007. 400 с.
- Cochran W. G. Sampling techniques. N.Y.: John Wiley and Sons, 1963. 413 p.
- Laist D. W. Marine debris entanglement and ghost fishing: A cryptic and significant type bycatch? // Proc. Solving Bycatch Workshop «Considerations for today and tomorrow». Fairbanks: Univer. Alaska, 1995. P. 33–39.
- Powell G. C. Growth of king crabs in the vicinity of Kodiak Island, Alaska // Inform. Leaflet № 92. Juneau: Dept. Fish Game, 1967. 106 p.
- Reeve J. E., Marasco R. An evaluation of alternate management options for the Southeastern Bering Sea king crab fishery // NWAFC Proc. Rep. 80–6. 68 p.
- Zheng J., Murphy M. C., Kruse G. H. A length-based population model and stock—

- recruitment relationships for red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in Bristol Bay, Alaska // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1995. V.52. P. 1229–1246.
- Zhou S., Shirley T.C. Is handling responsible for the decline of the red king crab fishery? // High latitude crabs: biology, management, and economics. Alaska Sea Grant Rep. № 96–02. Fairbanks: Univer. Alaska, 1996. P. 591–611.

## ASSESSMENT OF THE OPTIMUM COMMERCIAL SIZE OF RED KING CRAB IN THE BARENTS SEA

© 2015 г. S. V. Bakanev, Yu. A. Kovalev

*Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Murmansk, 183038*

In order to assess the optimum red king crab's landing size in the Barents Sea, concept of maximum sustainable yield was chosen which could be reached at different levels of fisheries exploitation and values of the minimum landing size. At maximum allowable level of fisheries exploitation of 30% the optimum red king crab's landing size should be 170 mm in carapace width. Though this increase is reasonable only provided that economic indicator (cost of production) is included in calculation and set of assumptions on equilibrium state of «stock-fishery» system is accepted, correlation stock-recruitment and traumatic mortality value are correctly chosen.

**Keywords:** red king crab, the Barents Sea, optimal legal size, simulation modeling.