

УДК 595.384.2–152.6

**Оценка состояния запаса камчатского краба
(*Paralithodes camtschaticus*) в российских водах
Баренцева моря в 1994–2011 гг.**

С. В. Баканев

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

Для оценки численности камчатского краба в Баренцевом море использовалась стохастическая версия когортной модели CSA [Zheng et al., 1997], данными для неё послужили уловы, полученные по результатам траловых и ловушечных съёмок, а также данные о производительности промысла. В настоящее время состояние промысловой части баренцевоморской популяции камчатского краба не является критическим. Однако сильное давление промысла негативно сказалось на биологических и промысловых показателях популяции в 2008–2009 гг.

Список используемых сокращений: ОДУ — общий допустимый улов, РЭЗ — российская экономическая зона, ФГБУ — федеральное государственное бюджетное учреждение, CSA — catch survey analysis, LBA — length-based analysis, LPUE — landings per unit effort, GLM — generalized linear model, GAM — generalized additive model.

Ключевые слова: камчатский краб, оценка запаса, динамика численности, Баренцево море.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка состояния запаса камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в Баренцевом море основывается на реализации традиционных методов определения продуктивности популяции. В основе оценки лежат базовые постулаты теории рыболовства, в соответствии с которыми выполняется расчёт ОДУ. В то же время биологические и экологические особенности жизнедеятельности камчатского краба и история его появления в Баренцевом море вынуждают отходить от алгоритмов, традиционно используемых при оценке запасов гидробионтов. Во-первых, сложность определения возраста ракообразных не позволяет исполь-

зовать преимущества моделей, основанных на оценке численности поколений. Во-вторых, характер роста численности искусственно созданной популяции затрудняет использование принципов управления, основанных на динамическом равновесии системы «окружающая среда — запас — промысел». В-третьих, на этапе начала промысловой эксплуатации запаса возникают трудности интерпретации связи биологических параметров популяции с промысловыми показателями.

В настоящее время процедура оценки численности камчатского краба в Баренцевом море учитывает все вышеизложенные аспекты, однако сами алгоритмы по сей день

подвергаются изменениям. Причины таких изменений связаны, прежде всего, не со стремлением усовершенствовать математический аппарат процедуры, а с необходимостью учитывать меняющееся качество и объём исходных данных, получаемых в ходе исследований. Сокращение объёмов исследований и нарушения в методике проведения съёмок стали причиной пересмотра в 2010–2011 гг. существующих процедур оценки численности камчатского краба.

В связи с этим в настоящей работе рассматриваются основные методы оценки численности камчатского краба в РЭЗ Баренцева моря в 1994–2011 гг. с учётом методологических изменений последних двух лет. На основе данных промысла и результатов научных съёмок дается оценка состояния запаса камчатского краба, а также анализируется влияние качества исходных данных на моделируемую численность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящее время оценка запаса проводится в пределах следующих промысловых районов Баренцева моря, прилегающих к полуостровам Кольский и Канин (рис. 1): Рыбачья (1), Кильдинская (2) и Канинская (6) банки, Мурманское мелководье (5), Западный и Восточный Прибрежные районы (3, 4) и Канино-Колгуевское мелководье (7). Площадь акватории составляет 103 тыс. км².

Для оценки состояния запаса использовались результаты анализа данных траловых, ловушечных, ловушечно-водолазных съёмок камчатского краба, а также данные промысловой статистики, полученные в 1994–2011 гг.

Промысловые данные получали посредством анализа судовых суточных донесений ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи». В каждом сообщении учитывалась информация о промысловых операциях согласно судовому журналу. Данные статистики использовались для анализа объёмов официально зарегистрированного вылова, поступившего в промпереработку, производительности лова (landings per unit effort, LPUE), количества усилий по промысловым полигонам и основным районам.

Данные наблюдателей на промысле использовались для анализа размерного и полового состава уловов, биологического состояния камчатского краба на акватории промысла, а также для определения объёма выбросов.

Научно-исследовательские съёмки до 2009 г. служили основой для оценки запасов краба по аналитической модели. Однако последние два года точность оценок индексов подвергается серьёзной критике как по причине нарушения сроков проведения съёмок, так и в связи с ограниченной зоной покрытия ареала. С 2009 г. оценка индексов численности по траловой съёмке является дополнитель-

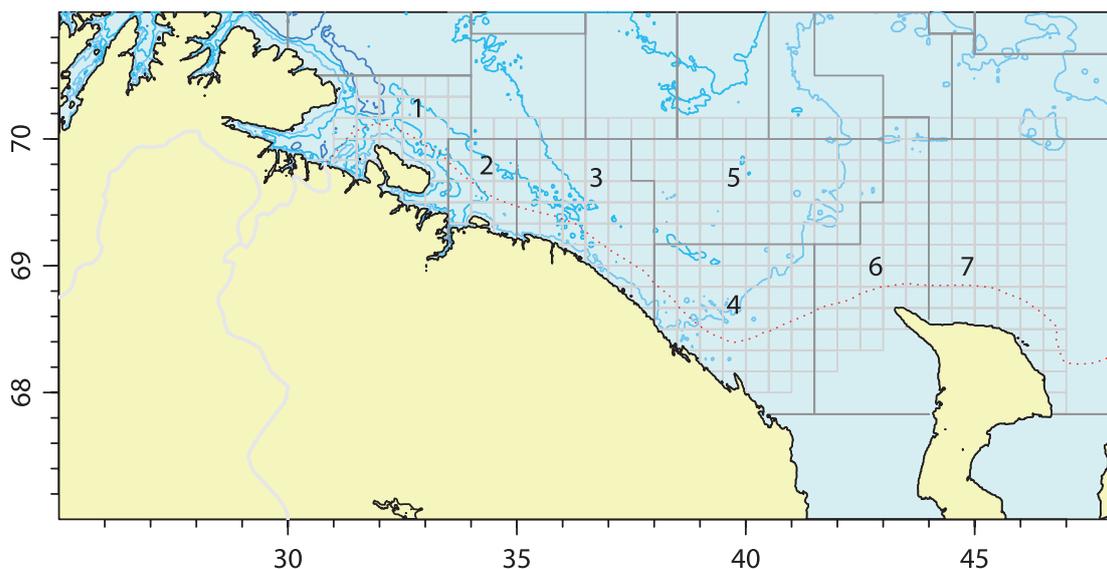


Рис. 1. Карта-схема районов исследовательских съёмок камчатского краба в российских водах Баренцева моря (пунктирная линия — граница 12-мильной зоны)

ной, тогда как данные о LPUE — основными показателями состояния запаса. С 1994 по 2006 гг. проводились дополнительные траловые исследования в весенний период с целью изучения нерестовых миграций краба. С 2007 по 2010 гг. проводилась экспериментальная ловушечная съёмка краба, которая по техническим причинам не осуществлялась в 2011 г. С 2008 г. проводятся ловушечные и водолазные исследования в прибрежной зоне полуостровов Кольский и Канин, которые служат дополнительным источником оценки состояния запаса. Индексы численности по съёмкам рассчитывались двумя способами. Основной метод оценки индексов — метод площадей (*swept-area method*) [Cochran, 1963]. Кроме того, используются геостатистический анализ вариограмм и кригинг [Rivoirard et al., 2000], которые применялись в основном для визуализации распределений камчатского краба в период съёмки.

Для стандартизации LPUE использован метод обобщённых линейных и аддитивных моделей (GLM — *generalized linear model*, GAM — *generalized additive model*), где в качестве зависимой переменной выбран параметр уловов на усилие, а предикторами служили факторы года (2007–2011), месяца, типа ловушки (трапециевидные, прямоугольные, конусные) и района промысла.

Индексы численности по съёмке и стандартизированный LPUE используются в качестве входных данных для модели CSA. CSA (*catch survey analysis*) является частным случаем LBA (*length-based analysis*) и используется в том случае, когда численность популяции мала для получения качественных данных по размерному составу. Модель была разработана американскими учёными для небольших запасов королевских крабов с относительно низкими уловами в ходе ежегодных съёмок [Zeng et al., 1997; Баканев, 2003]. Деление на размерные группы основывается на особенностях биологии и промысла крабов семейства Lithodidae, в которое входит и камчатский краб. Промысловая часть популяции в году t , состоящая из крупных самцов, делится на две группы: *рекруты* и *пострекруты*. Рекруты — это крабы с новым карапаксом, пополнившие промысловый запас в году t . Постре-

круты — крабы, пополнившие промысловый запас в году $t-1$ и ранее. В качестве пополнения промыслового запаса в году $t+1$ принимается численность пререкрутов в году t с учётом естественной смертности.

Отношение этих индексов к абсолютной численности обозначалось дифференцированными коэффициентами улавливаемости для каждого индекса численности и LPUE. Алгоритмы вычисления, моделирование и диагностика были реализованы в программе OpenBUGS (<http://www.openbugs.info>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Результаты моделирования показали значительный рост промысловой численности камчатского краба в 1994–2003 гг. и её постепенное снижение с 2005 г. (рис. 2). Относительно высокая численность пререкрутов в 2006–2007 гг. обеспечила пополнение промыслового запаса рекрутами, численность которых в 2007–2008 гг. возросла. Однако вступление в промысловый запас нового поколения не смогло в 2009 г. компенсировать убыль крабов старших возрастов (пострекрутов), некоторый рост численности начал вновь отмечаться с 2010 г. Максимально высокое пополнение в 2001 г. стало причиной значительного увеличения промысловой численности. Увеличение пополнения, отмеченное в 2006–2007 гг., не смогло остановить тенденцию к снижению численности промыслового запаса. Вместе с тем, снижение вылова в 2008–2011 гг. и увеличение пополнения в 2010 г. повлияли на изменение негативных тенденций в динамике численности промыслового запаса в 2011 г.

Прогноз численности промыслового краба на начало 2012–2016 гг. и выбор ОДУ на 2012 г. был выполнен с учётом нескольких вариантов возможного вылова и уровня пополнения. На рис. 3 показаны варианты динамики запаса при различных уровнях пополнения и возможного вылова. Пополнение задавалось в нескольких вариантах: на уровне последнего года, среднее геометрическое за 3 последних года, среднее геометрическое за 10 последних лет и минимальное наблюдавшееся пополнение за 10 последних лет.

Кроме того, учитывалось несколько вариантов вылова. Первый — это гипотетическая ситуация, когда вылов отсутствует, т.е. очевид-

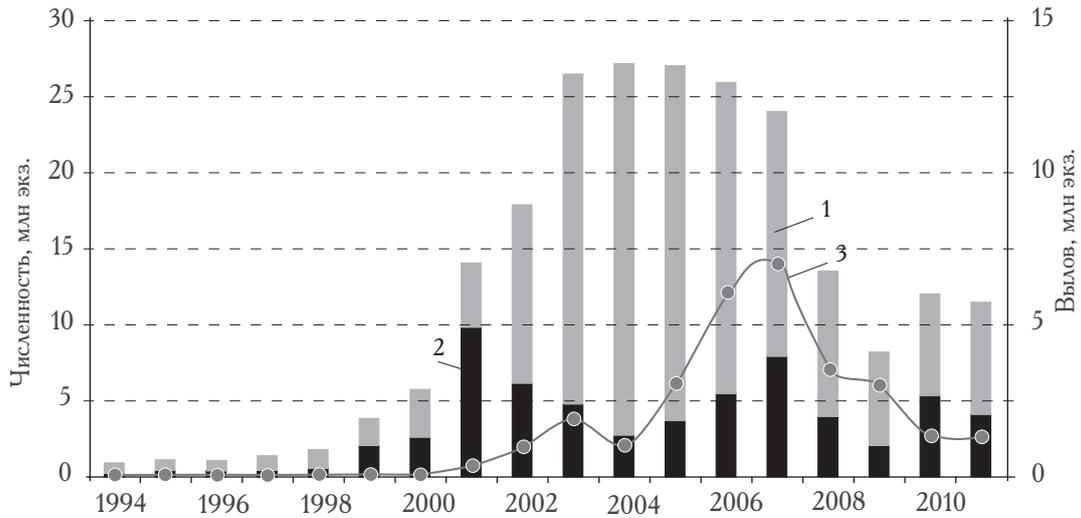
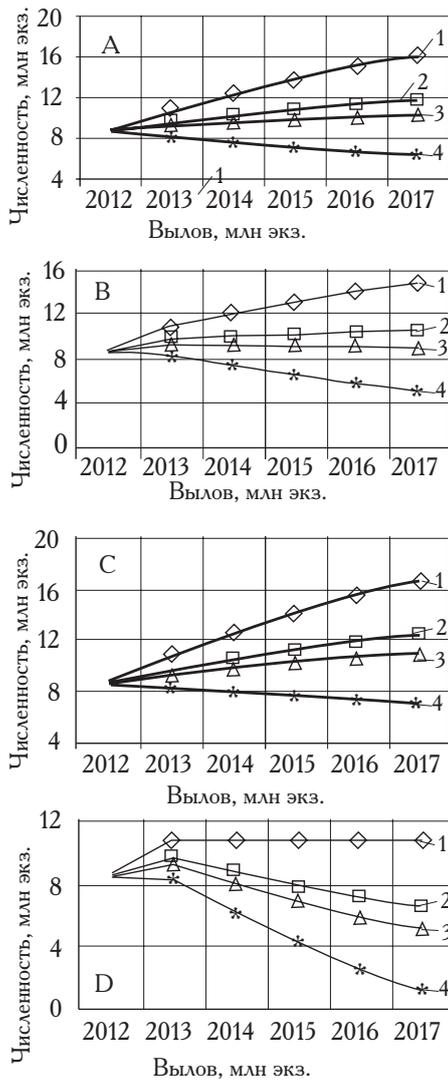


Рис. 2. Динамика пополнения и промыслового запаса, рассчитанная по модели CSA, а также вылов (сплошная линия) камчатского краба в Баренцевом море в 1994–2011 гг.



но, что динамика запаса при этом в прогностические годы самая оптимистическая. Вторым и третий вариант — ОДУ, рекомендованные в 2010 и 2012 гг. Для сравнения на графиках приведена динамика изменения запаса при выловах, превышающих рекомендованный вылов (3 млн экз.). При вылове в 3 млн экз., т.е. фактически в два раза превышающий рекомендованный, риск снижения численности в последующие годы достаточно велик.

Для определения ОДУ в прогностические годы, в настоящее время не используются биологические ориентиры управления. Продолжительность существования популяции камчатского краба в Баренцевом море крайне мала, а её динамика нестабильна. В настоящее время оценка динамики численности искусственно созданной популяции не может стать основой для выбора тех или иных критериев управления. Тем не менее, критерием благополучного существования запаса в 2012–2015 гг. мы условились считать наличие положительной динамики его численности. Рост численности в прогностические годы обеспечил бы восста-

Рис. 3. Прогноз динамики численности камчатского краба (млн экз.) в Баренцевом море при различной величине годового вылова (млн экз.) в 2012–2017 гг. и пополнения: равного уровню 2011 г. (А), среднегометрического за 3 последних года (В), за 10 последних лет (С) и минимального уровня за последние 10 лет (D)

новление запаса до среднесноголетнего уровня и успешную его последующую эксплуатацию в максимальных объёмах, как это наблюдалось в 2006–2007 гг.

С учётом такого критерия (наличие положительной динамики численности) был проведён риск-анализ. На рис. 4 показаны уровни риска, т.е. вероятность снижения запаса в последующие годы при разном уровне вылова. Очевидно, что риск снижения будет достаточно велик, если вылов будет максимальный. Если ежегодно изымать при вылове порядка 3 млн экз., то риск снижения запаса будет чуть более 50%. Если же полностью прекратить промысел, то риск снижения сохраняется, но он будет на минимальном уровне — порядка 20%. Разница в рисках при изъятии, рекомендованном в 2010 и 2012 гг., минимальна и составляет 5%.

Таким образом, текущий уровень информационной обеспеченности позволяет дать научно обоснованный прогноз численности и ОДУ камчатского краба в Баренцевом море на краткосрочную перспективу. Результаты прогноза зависят главным образом от выбранной величины пополнения в прогностические годы.

В начальный период оценки запаса камчатского краба в Баренцевом море моделирование численности основывалось на учёте ежегодного вылова и данных траловых съёмок. Учитывая, что время проведения съёмки год от года менялось (см. рис. 2), а полученные индексы численности варьировали в широких пределах, существовала необходимость использования дополнительных источников информации о динамике запаса. Очевидно, что такими источниками могли стать показатели среднегодовой производительности промысла, а также дополнительные исследовательские съёмки.

Анализ промысловой статистики продемонстрировал, что с 2007 г. показатели промысла могут быть использованы в качестве индексов численности, отражающих динамику промыслового запаса. Поскольку до 2007 г. промысел камчатского краба переживал период становления, его статистические показатели имели тогда высокую вариативность, а экспертные оценки ННН-промысла давали низкое соответствие официальным данным и фактических

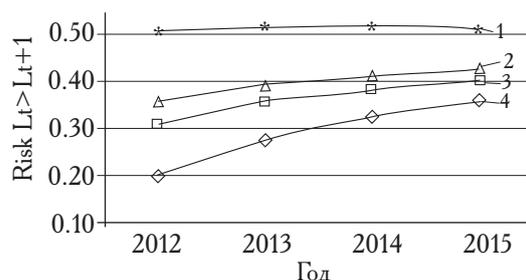


Рис. 4. Риск снижения промыслового запаса ниже уровня предыдущего года при разных уровнях эксплуатации в 2012–2015 гг.

показателей. В 2010 г. в модельные расчёты были включены показатели стандартизованного улова на усилие за 2007–2010 гг.

Кроме того, в 2007–2010 гг. наряду с траловой проводилась ловушечная съёмка, результаты которой показали хорошую согласованность с данными траловой съёмки и промысла. С учётом этого индекс численности ловушечной съёмки также был включен в аналитическую оценку запаса.

Для анализа точности полученных оценок численности и прогностической ценности модельных расчётов необходимо учитывать степень согласованности индексов численности, полученных в ходе съёмок и промысла, с модельной оценкой численности (рис. 5). Модель удовлетворительно описывает данные траловых съёмок в 1994–2002 гг. Величины индексов траловых съёмок 2003–2004 гг. не могли быть корректно описаны модельными расчётами из-за значительного увеличения численности по траловой съёмке. Такие выбросы можно объяснить методическими трудностями проведения траловой съёмки в эти годы, а именно более поздними сроками и, соответственно, большим охватом промысловых скоплений.

С 2007 г., помимо индексов промыслового запаса, полученных по траловым съёмкам, используются индексы ловушечных съёмок и показатель стандартизованной производительности промысла (LPUE), полученный с использованием GLM-модели. Модельные оценки в 2007–2011 гг., настроенные на три индекса численности, дают усреднённые величины. Отмечается хорошее согласование модельных оценок с данными численности по ловушечной съёмке в 2007–2010 гг.

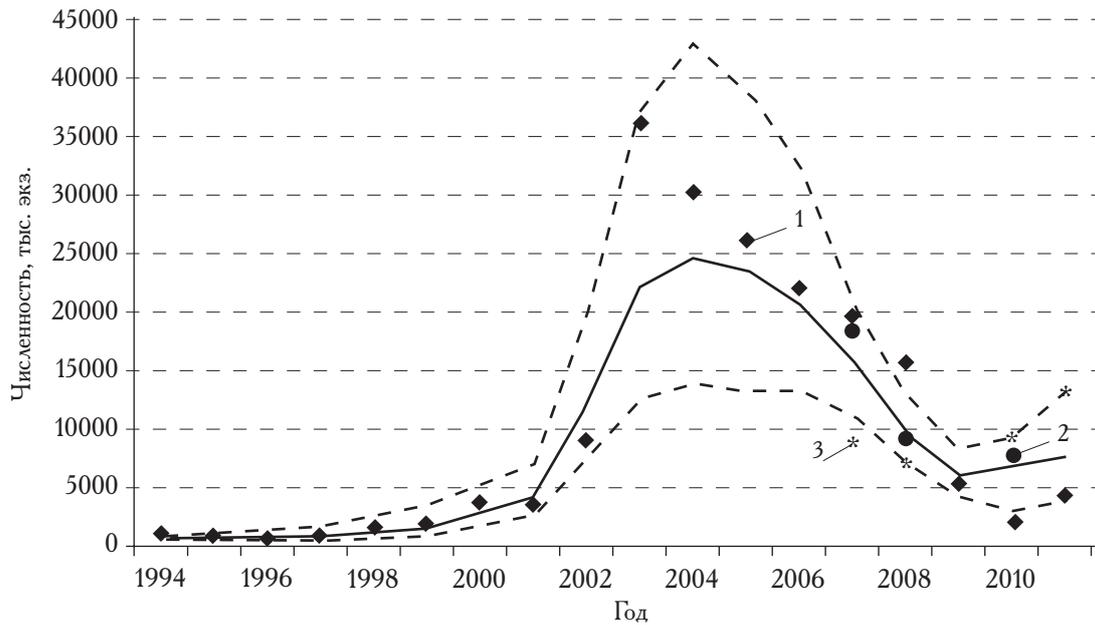


Рис. 5. Медианная численность (сплошная линия) с 95%-ным доверительным интервалом (пунктирная линия) промысловой части популяции камчатского краба в Баренцевом море по модели CSA и по данным промысла (LPUE), траловой и ловушечной съёмки с учётом коэффициентов улавливаемости

Количественная оценка согласованности индексов и модельной численности, может быть представлена анализом статистических характеристик распределения остатков между наблюдавшимися ранее и рассчитанными значениями численности (рис. 6). За весь период наблюдений с 1994 по 2011 гг. имела место периодическая недооценка или переоценка численности по данным траловых съёмок разных размерных групп. В 1998–2000, 2003–2008 гг. остатки имеют положительные значения, то есть моделируемая численность ниже значений, полученных по траловым съёмкам. Причиной этого являются, скорее всего, неточные оценки индексов по исследовательской съёмке в эти годы. Кроме того, в период наблюдений с 2008 г. отмечаются высокие величины остатков. Такие значения, по всей видимости, связаны с методическими огрехами оценки индексов в последние годы проведения исследовательских съёмок, а также влиянием на моделируемую численность данных по ловушечным съёмкам и производительности промысла. В этот период относительно низкие уловы крабов в ходе ежегодных съёмок, недооценки численности вследствие активных миграций акклиматизанта, а также мето-

дические ошибки в ходе становления нового ряда наблюдений вносят существенные помехи в оценку параметров запаса и затрудняют выявление закономерностей его динамики. Более точно модель описывает данные траловых съёмок в 1997–2001 гг., что, возможно, подтверждает допущение о правильном соотношении индексов численности размерных групп по данным съёмок в эти годы и реальной численностью их в популяции. Кроме того, в эти годы промысел, особенно нелегальный, не оказывал существенного воздействия на популяцию.

Минимальные отклонения отмечены для величин индексов ловушечных съёмок в 2007–2010 гг., что, возможно, говорит о лучшем соответствии динамики запаса и данных этой съёмки. В этот период наблюдается также удовлетворительное согласование модельных оценок численности с данными производительности промысла ($L-LPUE$). В 2011 г. обращают на себя внимание высокие величины разницы между модельными данными и производительностью лова промысловых самцов ($L-LPUE$), а также численностью пострекрутов по траловым съёмкам. Модельные показатели промысловой численности в этом году переоценены согласно траловой съёмке

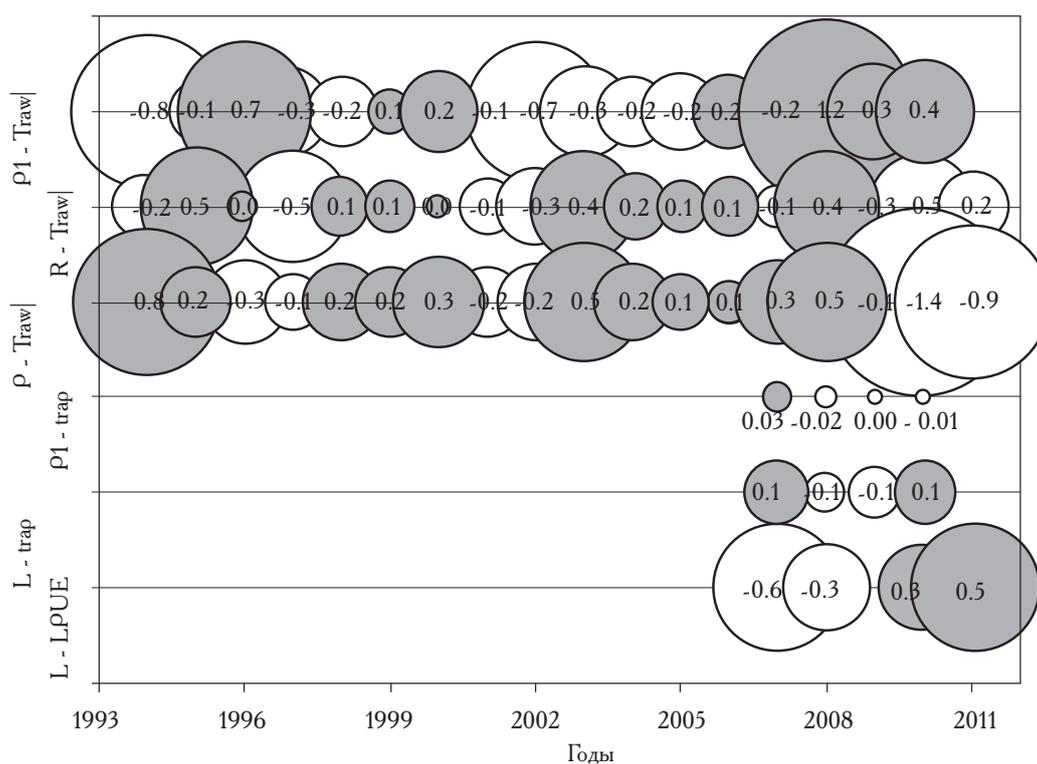


Рис. 6. Величины отклонений логарифмов (серые круги — положительные, белые — отрицательные) индексов численности пререкрутов (P1-trawl), рекрутов (R-trawl) и пострекрутов (P-trawl) по траловым съёмкам, пререкрутов (P1-trap) и промысловых самцов (L-trap) по ловушечным съёмкам и стандартизированным уловам на усилия промысловых самцов (L-LPUE) от рассчитанных по модели CSA значений численности камчатского краба Баренцева моря в 1994–2011 гг.

и недооценены согласно показателям производительности лова. Отсутствие ловушечной съёмки, а также несогласованность индексов численности по траловой съёмке и производительности промысла в 2011 г. повышает неопределенность модельной оценки, т.е. увеличивает 95%-ный доверительный интервал (см. рис. 5).

Снижение неопределенности в оценках численности в 2011 г. может быть достигнуто исключением из оценки наименее надежного индекса. Однако фактическими данными о надежности индексов численности в настоящее время мы не располагаем, и решение по исключению может быть сделано на основании экспертного мнения. Методические нарушения в проведении траловых съёмок в 2010–2011 гг. ставят под сомнение целесообразность использования индексов съёмок в эти годы. При отказе от индексов оценка промысловой численности в 2011 г. будет основана только на данных производительности промысла. Од-

нако в настоящее время производительность промысла камчатского краба неадекватна динамике его запаса в связи с тем, что промысел периодически смещается на новые участки, не эксплуатируемые ранее. Особенно ярко это проявилось в 2011 г., когда основной флот с самого начала промысла вышел в не облавливаемые ранее районы, где обнаружил плотные концентрации краба. Зафиксированный существенный рост производительности свидетельствует не об увеличении численности краба в районах, освоенных промыслом ранее, а об обнаружении нового промыслового участка (рис. 7). На рис. 7 хорошо видно, что в 2011 г. произошло не только смещение, но и существенное сокращение районов промысла за счёт сужения долготного диапазона распределения промысловых усилий.

Таким образом, при учёте возросшей производительности промысла в 2011 г. в качестве единственного индекса численности существует высокая вероятность переоценки

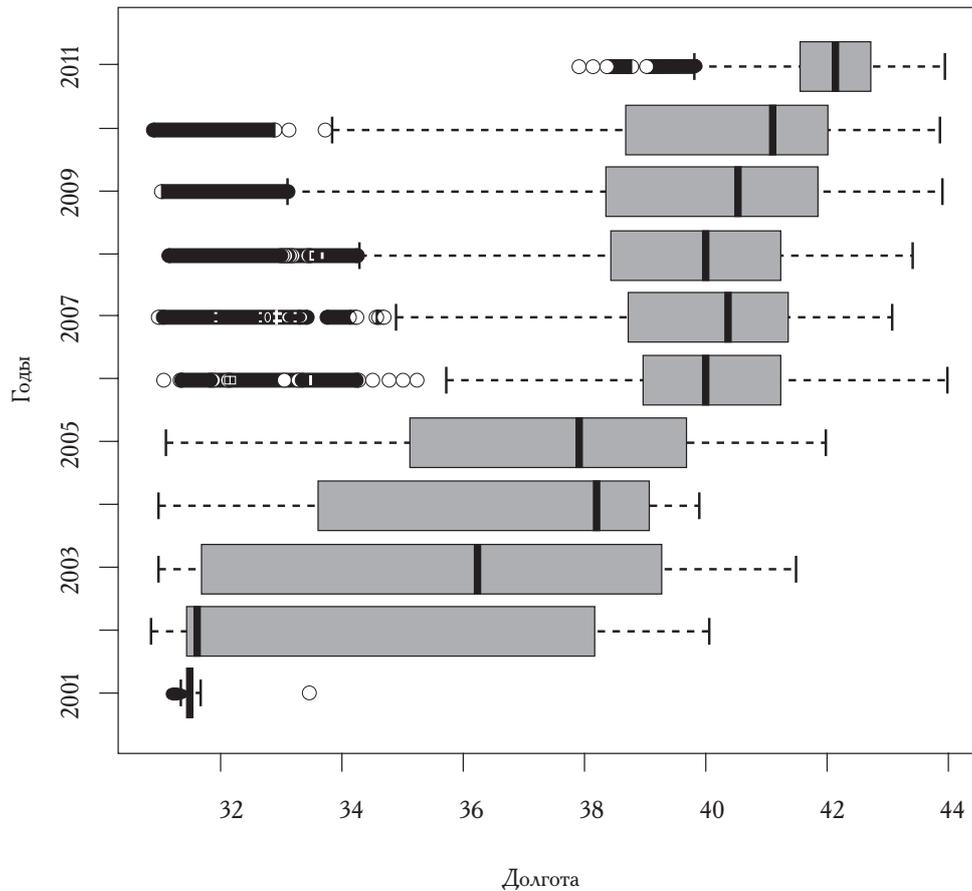


Рис. 7. Распределение промысловых усилий (постановка ловушек) по долготе на промысле камчатского краба в Баренцевом море в 2001–2011 гг. (верхняя и нижняя границы прямоугольника соответствуют интерквартильному размаху (ИКР), вертикальная линия — медиане, границы «плечей» — $1,5 \times$ ИКР, кружки — выбросы)

величины промыслового запаса. Оптимальным решением, по нашему мнению, является сохранение традиционного алгоритма расчёта, который учитывает как данные траловой съёмки, так и производительность промысла. При этом рост модельной численности будет учитывать не только значительное увеличение производительности промысла в 2011 г., но и более консервативное повышение численности по данным траловых съёмок. Несмотря на увеличение неопределённости в оценке запаса в 2011 г., риск переоценки величины запаса при этом снижается.

Выводы

Оценка динамики численности и функциональной связи между размерно-возрастными группами камчатского краба в Баренцевом

море с помощью моделирования в настоящее время является эффективным инструментом исследования популяционных изменений. Прямые наблюдения по результатам съёмок и промысла несут значительное количество шума и зачастую весьма неопределенны, что связано как с методическими проблемами, так и с экологическими особенностями животного. Интегрирование данных, полученных в ходе различных исследований, в единую модель позволяет в настоящее время выявить и оценить изменения в популяции.

Динамика численности камчатского краба в Баренцевом море с 1994 г. соответствует процессу формирования новой популяции. За период исследований промысловая численность камчатского краба увеличилась более чем в 20 раз и составила на 2006–2008 гг. около 25 млн экз.

В настоящее время состояние промысловой части баренцевоморской популяции камчатского краба не следует рассматривать как критическое. Однако сильное давление промысла негативно сказалось на биологических и промысловых показателях популяции в 2008—2009 гг.

Обнаружение новых промысловых скоплений с высокими концентрациями краба в 2011 г. обеспечило увеличение производительности промысла в 1,5 раза по сравнению с предыдущим годом, что может быть гарантией стабильности промысла в последующие годы даже при увеличении ОДУ. Тем не менее, данные о восстановлении запаса или стабильных положительных тенденциях требуют подтверждения по крайней мере результатами следующего промыслового сезона. В то же

время наличие обширных прибрежных рыбоохранных акваторий, соответствующих прибрежным территориальным водам, снижает риск подрыва запаса при ошибках управления.

ЛИТЕРАТУРА

- 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.
- Cochran W. G. 1963. Sampling Techniques. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 413 p.
- Rivoirard J., Simmonds J., Foote K. G., Fernandes P., Bez N. 2000. Geostatistics for Estimating Fish Abundance. London: Blackwell Science. 206 p.
- Zheng J., Murphy M. C., Kruse G. H. 1997. Application of a Catch-Survey Analysis to Blue King Crab Stocks Near Pribilof and St. Matthew Islands // Alaska Fishery Research Bulletin. № 4 (1). P. 62—74.

Stock Assessment of Red King Crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the Barents Sea in 1994—2011

S. V. Bakanev

Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO, Murmansk)
e-mail: bakanev@pinro.ru

To estimate the red king crab abundance stochastic version of cohort CSA model was applied based on catch from trawl and pot surveys as well as fishery efficiency data. The status of commercial stock of the red king crab in the Barents Sea at present shall not be regarded as critical. Yet strong pressure from fishery produced negative impact on biological and fisheries parameters of the population in 2008—2009.

Keywords: red king crab, stock assessment, abundance dynamics, Barents Sea.