

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 574.587: 574.62

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ДИНАМИКИ ЗАПАСА КРАБА-СТРИГУНА БЭРДА**

© 2019 г. А. И. Буяновский

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
Москва, 107140  
E-mail: albuy@mail.ru*

Поступила в редакцию 09.01.2019 г.

На примере трех единиц запаса краба-стригуна Бэрда анализируется несколько методов оценки годового прироста запаса по данным судовых суточных донесений с промысла. Минимальный положительный прирост получается, если 1) период промысла поделить на несколько сезонов; 2) оценивать влияние на промысел фактора судна, (3) рассчитать средние уловы в каждом сезоне. Поправку на изменение площади предлагается учитывать только при ее уменьшении, при увеличении ее рекомендуется применять только при наличии доказательства появления новых скоплений. Приводится алгоритм расчета абсолютных значений доступного запаса в разные годы. Вводится понятие скорректированной оценки запаса, основанной на индикаторном подходе (методе светфора) и учитывающей как данные учетных съемок, так и промысловую статистику. *Ключевые слова:* промысел, улов на усилие, плотность запаса, краб-стригун, стандартизация, обобщенные линейные модели, метод светфора

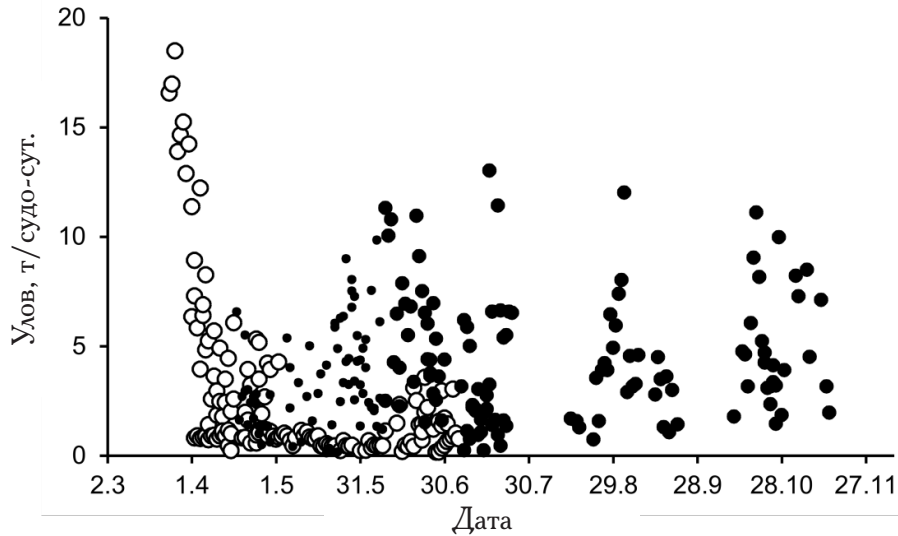
**ВВЕДЕНИЕ**

Промысловая статистика (ПС) — это сводные данные, поступающие с промысла в виде суточных судовых донесений (ССД) — один из источников информационного обеспечения прогноза состояния запаса. Роль ПС в последние годы все более возрастает. Важнейшим показателем при ее анализе служит улов на усилие, который часто рассматривают как величину, пропорциональную (промысловому) запасу. Наименее искажаемой величиной улова на усилие, получаемой из данных промысловой статистики, является суточный вылов одного судна, измеряемый в тоннах на судно-сутки (т/судно-сут.) (Буяновский, Алексеев, 2017).

Оценку величины запаса и его динамики, как правило, выполняют по данным учетных съемок. По отношению к промысловым крабам, регулярные съемки проводятся только для сравнительно небольшого числа популяций (Алексеев и др., 2017). Данные ПС, напротив, собираются ежегодно, и ис-

следователи все чаще внедряют их в методы оценки запаса, причем не только по отношению к крабам (Бабаян и др., 2014, 2018; Баканев, 2015).

В предыдущей работе для оценки начального запаса был предложен оригинальный алгоритм, основанный на методе Лесли (Буяновский, 2019). При его использовании возникли затруднения, связанные со сравнением запасов в разные годы. Например, для краба-стригуна Бэрда у Корякского берега (Западно-Беринговоморская рыбопромысловая зона) запас в 2014 г. составил  $1514 \pm 176$  т, а в 2015 г. —  $353 \pm 3$  т. Из этих данных следует, что в 2015 г. запас сильно упал, но другие источники свидетельствуют, что он был стабилен. Следовательно, наблюдаемые различия могут быть связаны с иными причинами — разницей в сроках промысла (рис. 1), разным списком работающих судов, межгодовой изменчивостью распределения запаса по районам и сезонам.



**Рис. 1.** Динамика уловов краба-стригуна Бэрда у Корякского берега в 2014 (●, ●) и 2015 (○) гг. ●, ○ — данные, использованные для оценки начального запаса методом Лесли. ● — данные 2014 г., не использованные для оценки запаса методом Лесли.

С учетом этих обстоятельств, цель данной работы можно определить как поиск метода оценки, который, во-первых, учитывает неравномерность распределения запаса в пространстве и во времени; во-вторых, учитывает различия в сроках промысла и производительности судов; в-третьих, адекватно отражает межгодовую динамику запаса через данные, содержащиеся в промысловой статистике.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом послужили данные ССД в базе отраслевой системы мониторинга. Для анализа выбирали следующие параметры: вид, рыбопромысловая зона/подзона, судно, дата, орудие лова, суточный вылов одним судном (т/судно-сутки промысла, далее — суточный улов), среднесуточные координаты. Усилие рассчитывали как число суток, проведенных всеми судами на промысле в течение года (судно-сутки).

В качестве примеров были выбраны единицы запаса, относящиеся к крабу-стригуну Бэрда (*Chionoecetes bairdi*) из трех рыбопромысловых районов — Корякского берега (рыбопромысловая зона Западно-Берингово-морская), Олюторского залива (подзона Карагинская), юго-западной Камчатки (подзона

Камчатско-Курильская). Выбор был связан с тем, что ранее для каждой единицы запаса в один из годов были выполнены оценки запаса с помощью метода Лесли (Буяновский, 2019).

Для анализа были взяты данные за 2013—2017 гг., когда промысловая статистика начала давать более или менее достоверную информацию (Шагинян, 2014).

*Общая характеристика метода.* Оценку годового прироста запаса выполняли с помощью коэффициентов, рассчитываемых при сравнении данных за два соседних года. Для выполнения сравнительной оценки было использовано пять методов расчета через:

1. Отношение среднегодовых суточных уловов без стандартизации.
2. Отношение среднегодовых суточных уловов и соответствующих им усилий.
3. Отношение среднегодовых суточных уловов с учетом фактора судна, но без учета влияния фактора сезона.
4. Отношение средних суточных уловов в одни и те же сезоны с учетом длительности сезона, влияния фактора судна и сроков промысла.
5. Отношение стандартизированных среднегодовых суточных уловов с учетом влияния факторов года, сезона и судна.

Предварительная обработка данных (по всем выбранным единицам запаса) заключалась в удалении ССД, относящихся к научным исследованиям или прилову при промысле других видов — оставляли только сведения, относящиеся к промышленному и прибрежному специализированному лову.

Поскольку значительная часть ССД, подаваемых из Западно-Беринговоморской зоны содержала координаты, не соответствующие району промысла (Буяновский, Алексеев, 2017), то для анализа были использованы только данные, координаты которых располагались между меридианами 173°20' и 174°40' в.д. Для остальных районов, где доля данных с сомнительными координатами была низкой, использовали все ССД, поданные в течение года. Данные по Западно-Беринговоморской зоне, поданные из района западнее 171°30' в.д. были использованы для корректировки оценок запаса в Олюторском заливе.

Для сравнения среднегодовых суточных уловов (метод 1) для каждого из двух сравниваемых лет суточные уловы усредняли без учета факторов района, срока и судна, ведущего промысел. Коэффициент годового прироста вычисляли как отношение значений, рассчитанных для более позднего года к значениям, рассчитанным для более раннего года.

Еще один индекс ( $G$ ) рассчитывали как отношение произведений среднегодовых суточных уловов и усилий (метод 2):

$$G = \frac{C_t \times E_t}{C_{t-1} \times E_{t-1}}, \quad (1)$$

где  $C_t$  и  $C_{t-1}$  — средние суточные уловы в годы  $t$  и  $t-1$ .  $E_t$  и  $E_{t-1}$  — усилия в эти же годы.

В основе расчета лежит допущение, что величина усилия пропорциональна облавливаемой площади<sup>1</sup>, а величина среднегодового суточного улова пропорциональна плотности запаса. Следовательно, при уве-

<sup>1</sup> Впоследствии существование такой зависимости было показано для нескольких десятков выборок другого вида, но в данную работу эти материалы не вошли.

личении улова и усилия запас растёт и  $G > 1$ . При их уменьшении запас падает и  $G < 1$ . Если же улов и усилие меняются разнонаправленно, то значение  $G$  может показывать, в каком направлении меняется величина запаса: если  $G > 1$ , запас растёт, а если  $G < 1$  — снижается.

Для расчета стандартизированных среднегодовых суточных уловов (метод 5) применяли метод обобщенных линейных моделей (GLM-метод). Подготовку данных выполняли в файле MS-Excel на одном листе. Отдельными колонками заносили данные по судну, сезону, году и суточным уловам. Все данные, кроме сведений по уловам, содержали буквенные символы (например, для года — Г-2014), чтобы модель воспринимала их как независимые факторы, а не как непрерывные переменные, меняющиеся в определенной последовательности. Для удобства каждая колонка в первой строке снабжалась заглавием. Каждый массив содержал данные за два соседних года, начиная с 2013 г.

Для предварительного выделения сезонов у Корякского берега и Юго-Западной Камчатки использовали методику попарного сравнения средних суточных уловов в соседние месяцы (Буяновский, Алексеев, 2017); в Олюторском заливе объединение выполняли экспертно. Подразделения на районы не проводили ввиду компактности распределения промысловых скоплений.

Дальнейшие вычисления выполняли в программной среде R, включив пакет Rcmdr. Так же как и ранее (Буяновский, 2019) при расчете коэффициентов обобщенной линейной модели предпочтение отдавали логарифмической функции связи (между средней величиной зависимой переменной и независимыми переменными). После вывода результатов расчета, годовой прирост улова оценивали как экспоненту коэффициента влияния фактора года. Эта величина отражает гипотетическую ситуацию, когда все суда, зарегистрированные в районе, работают в оба года в одни и те же сезоны.

Для оценки годового прироста улова с учетом факторов судна и сезона (методы 3–4) был разработан оригинальный алгоритм.

Величину запаса можно представить формулой:

$$N = n \times S, \quad (2)$$

где  $n$  — средняя плотность запаса,  $S$  — площадь облавливаемого района.

Плотность и среднесуточный улов можно связать формулой:

$$n = C / u, \quad (3)$$

где  $C$  — среднесуточный улов,  $u$  — среднесуточная площадь облова судна, далее удельная площадь. По отношению к крабоидам и крабам среднесуточная площадь может быть рассчитана как произведение площади зоны эффективного действия ловушки на число ловушек, обработанных за сутки, усредненное для разных судов.

Каждое судно, участвующее в промысле, облавливает удельную площадь  $u_k$ , которую можно представить как преобразованную площадь, облавливаемую неким стандартным судном  $u_0$ :

$$u_k = f_k \times u_0, \quad (4),$$

где  $f_k$  — коэффициент, зависящий от особенностей судна (числа ловушек, видов приманки, тактики лова и т.п.), и в дальнейшем называемый фактором судна.

При работе нескольких судов средняя удельная площадь  $u$  будет равна отношению суммы удельных площадей каждого судна к числу судов. Поскольку на промысле каждое судно затрачивает разные усилия (судосутки), то эту зависимость можно представить следующим образом:

$$u = \frac{\sum_{k=1}^K u_0 \times f_k \times e_k}{E}, \quad (5),$$

где  $K$  — число судов,  $e_k$  — усилие, затрачиваемое одним судном;  $E$  — суммарное усилие.

Формула (3) справедлива только в том случае, если на протяжении всего периода наблюдений значение  $n$  в разные сезоны остается постоянным. В действительности

оно может заметно колебаться, и требуется выделение временных ячеек, внутри которых этими колебаниями можно пренебречь<sup>2</sup>. После выполнения данной процедуры — выделения контрольных сезонов (Буяновский, Алексеев, 2017), в каждой ячейке согласно формуле (3):

$$n_i = \frac{C_i}{u_i}, \quad (6)$$

где  $i$  — номер ячейки,  $C_i$  — среднесуточный улов в ячейке,  $u_i$  — удельная площадь в ячейке, рассчитываемая по формуле (5).

С учетом формулы (6) среднегодовая плотность в регионе  $n$  может быть рассчитана как средневзвешенная величина, определяемая вкладом каждой ячейки:

$$n = \sum_{i=1}^P (p_i \times n_i), \quad (7)$$

где  $p_i$  — доля временной ячейки от 0 до 1, суммарная доля равна 1;  $P$  — число ячеек.

Или, с учетом формул (5) — (7):

$$n = \frac{1}{u_0} \times \sum_{i=1}^P \left( \frac{p_i \times C_i \times E_i}{\sum_{k=1}^{K_i} f_k \times e_{k_i}} \right), \quad (8)$$

где  $E_i$  — суммарное усилие в ячейке;  $K_i$  — число судов в ячейке,  $e_{k_i}$  — усилие  $k$ -го судна в ячейке.

Соответственно формулу запаса можно представить:

$$N = \frac{S}{u_0} \times \sum_{i=1}^P \left( \frac{p_i \times C_i \times E_i}{\sum_{k=1}^{K_i} f_k \times e_{k_i}} \right), \quad (8a)$$

Формула (8a) может быть использована при сравнении запаса за два года. При этом единственным необходимым условием должно быть наличие судна, для которого удельная площадь облова ( $u_0$ ) в оба сравниваемых года является постоянной. Если запас сравнивается в два соседних года, то как

<sup>2</sup> Безусловно, требуется и учет пространственного фактора, но в данной работе, где районы добычи объекта расположены компактно, он не учитывается. Эту проблему предполагается осветить в одной из следующих публикаций.

правило, такие суда (с постоянным костяком экипажа) существуют. Если число ячеек и их доли в сравниваемые годы ( $t$  и  $t-1$ ) одинаковы, то итоговую формулу можно представить так:

$$\frac{N^t}{N^{t-1}} = \frac{S^t}{S^{t-1}} \times \frac{\sum_{i=1}^P \left( \frac{p_i \times C_i^t \times E_i^t}{\sum_{k=1}^{K_i} f_k \times e_{k_i}^t} \right)}{\sum_{i=1}^P \left( \frac{p_i \times C_i^{t-1} \times E_i^{t-1}}{\sum_{k=1}^{K_i} f_k \times e_{k_i}^{t-1}} \right)}, \quad (9)$$

Все параметры правой части формулы (9), за исключением  $S$ , могут быть оценены по данным, которые содержит отраслевая система мониторинга.

При переходе от соотношения численностей к соотношению биомасс следует к формуле (9) добавить еще один множитель —  $(W_t / W_{t-1})$ , где  $W_t$  и  $W_{t-1}$  — средние массы промысловых самцов в более поздний и более ранний год соответственно. Когда эти показатели равны (а это бывает чаще) данной поправкой можно пренебречь.

Долю каждой временной ячейки (контрольного сезона; в формуле (9) —  $p_i$ ) оценивали как отношение длительности каждого сезона, варьировавшей от 1 до 5 месяцев, к 12 (месяцам). Соответственно, минимальная доля в ячейке составляла 0,08 (табл. 1).

**Фактор судна.** При сравнении данных за два года GLM-метод позволяет рассчитать коэффициенты влияния «фактора судна» по отношению к эталону, для которого такой коэффициент равен 0. По умолчанию в качестве эталона выбирается судно, которое стоит первым по алфавиту, и при

желании (обрабатывающего данные) им может стать любое судно из перечня. Значения коэффициентов при смене эталона также будут меняться и, соответственно, результаты расчетов по формуле (9) будут различаться. Для преодоления этой неопределенности в качестве эталона было выбрано некое абстрактное судно, для которого коэффициент влияния фактора был равен не 0, а значению общего смещения (Intercept) в уравнении обобщенной линейной модели. При логарифмической функции связи для каждого судна коэффициент, характеризующий влияние его фактора, рассчитывали как экспоненту суммы значений общего смещения и (специфического для данного судна) коэффициента, рассчитываемого методом GLM. При таком подходе, значения  $f_k$  формулы (9) оставались постоянными, независимо от изменений слагаемых, происходивших в связи со сменой эталонного судна.

**Изменение площади.** Учитывая компактность районов промысла и сравнительно небольшое усилие, для двух единиц запаса — у Коряжского берега и в Олюторском заливе площадь во все годы считали постоянной. Для юго-западной Камчатки, где усилие в разные годы варьировало, ежегодная оценка изменения площади была необходимой.

Поскольку каждое значение ССД содержит координаты, его можно нанести на карту, и далее, используя возможности оконтуривания в ГИС «Картмастер» — посчитать площадь района (Бизиков и др., 2013). Но при этом всегда возникает вопрос, какие точки с координатами следует отбросить как ошибочные (Буяновский, Алексеев, 2017),

**Таблица 1.** Доля каждого сезона при оценках межгодового прироста запаса краба-стригуна Бэрда в разных районах

Район	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коряжский берег	-	-	0,08	0,08	0,08	0,50						0,08
Олюторский залив	-	-	-	0,33			0,08	0,08	-	0,08	-	
Юго-Западная Камчатка	0,08	0,25			0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08



и как избежать субъективизма при оконтуривании скоплений.

Один из методов решения данной проблемы может заключаться в представлении площади как суммы обследованных (одинаковых) прямоугольников. Для этого надо знать два параметра: оптимальный размер прямоугольника и минимально допустимое число ССД, подаваемых из пределов прямоугольника, позволяющих считать его площадь обследованной. На основании предыдущих исследований (Буяновский, Алексеев, 2017; Буяновский, 2018) второй параметр можно принять равным 10.

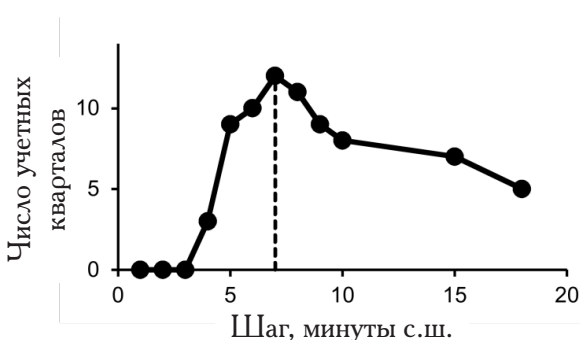
С учетом данного обстоятельства представляется, что оптимальной будет такая площадь прямоугольника (площадка), при которой их количество с числом ССД  $\geq 10$  будет максимальным. При малом размере площадки значительная часть прямоугольников при расчете суммарной площади не будет учитываться вследствие недостаточного числа ССД, поданных из их пределов. При большом размере площадки обнаружение межгодовых различий (в площади) затрудняется из-за малого числа прямоугольников и сильного округления оценок вследствие включения в площадки участков, где промысел не ведется, поскольку, чем меньше пло-

щадка, тем больше вероятность, что такие участки учитываться не будут.

Для оптимизации размеров прямоугольника была использована выборка 2015 г., когда с юго-западной Камчатки было подано число ССД, близкое к минимуму (248). Далее, на листе MS-Excel было создано поле с шагом 1 минута по широте (строки) и долготе (столбцы), в ячейки которого помещали координаты каждого ССД, присваивая вес этим данным (1, 2, 3) в зависимости от числа ССД, поданных из одних и тех же координат. За начальные значения брали координаты ближайших параллелей и меридианов с нулевыми минутами. Отсчет вели с юга на север и с запада на восток. После нанесения значений они были просуммированы по долготе с шагом в 2'. Так образовались прямоугольники с шагом в 1' по широте и 2' по долготе, соответствующие приблизительно равным сторонам учетной площадки — квадрата. Суммарное число квадратов, содержащих  $\geq 10$  ССД, характеризовало величину обследованной площади.

После расчета площади соседние квадраты были просуммированы с шагом по широте в 2' и по долготе в 4'. В результате суммирования появилось больше квадратов, где (за счет слияния) увеличилось число ССД. Эти квадраты были снова подсчитаны, после чего «старые» квадраты (с шагом в 1' по широте и 2' по долготе) были просуммированы с новыми шагами по широте и долготе. В результате наибольшее количество квадратов, содержащих  $\geq 10$  ССД, было получено при шаге по широте в 7' и по долготе в 14' (рис. 2). Эти значения можно считать шагом, установленным для оценки промысловой площади (подсчета числа квадратов, содержащих  $\geq 10$  ССД) и последующего расчета ее годового прироста в формуле (9). Данная величина получается объективно и предполагает единственное решение.

Когда для сравнения использовали не все временные ячейки, площадь корректировали, удаляя ССД, относящиеся к неиспользуемым ячейкам с последующим повторным подсчетом числа ССД в каждом квадрате.



**Рис. 2.** Зависимость числа учетных квадратов, содержащих 10 и более ССД от размера их стороны при оценке площади, на которой вели промысел краба-стригуна Бэрда у юго-западной Камчатки в 2015 г. Вертикальная линия показывает оптимальный размер стороны квадрата (минуты по широте).

Если не выявляется ни одного квадрата (к данной работе не относится), содержащего 10 и более ССД, площадь рекомендуется считать равной одному квадрату.

Таким образом, для расчета коэффициентов межгодового прироста запаса по методу 4 использовали формулу (9), а при расчете по методу 3 ее упрощали:  $\rho_i$  приравнивали к 1, а  $C_i$  и  $E_i$  — к среднегодовому суточному улову и суммарному усилию за год соответственно.

*Расчет запаса и поправка на вылов.* Для методов 1–3, 5 величину запаса вычисляли рекуррентным способом: значение, оцененное для одного из годов ( $t$ ) методом Лесли (Буяновский, 2019) умножали (или делили, если год с неизвестным запасом был более ранним) на коэффициент годового прироста и получали значение для года  $t+1$  (или  $t-1$  при делении). Поправку на площадь применяли для всех методов, кроме метода 2, где различия в площади отражаются в соотношении усилий.

Далее полученное значение умножали (или делили) на следующий коэффициент годового прироста, вводили поправку на площадь, получали величину запаса для года  $t+2$  (или  $t-2$  при делении) и т.д.

Поскольку в разные годы промысел начинается в разные сроки, то, при использовании метода 4, вылов накануне сравнения может заметно скорректировать величину начального запаса. При его расчете возможно два варианта — в год, когда запас известен, промысел начался раньше, чем в год, когда он неизвестен, и — наоборот. В первом случае использовали поправку:

$$B_x = (B_0 - Y_0) \times \left( \frac{N_x \times W_x}{N_0 \times W_0} \right), \quad (10a)$$

во втором:

$$B_x = \left[ B_0 \times \left( \frac{N_x \times W_x}{N_0 \times W_0} \right) \right] + Y_x, \quad (10б)$$

где  $B_x$ ,  $B_0$  — начальные запасы в неизвестный и известный год соответственно,  $Y_0$  и  $Y_x$  — вылов до наступления первого общего сезона в известный и неизвестный год соот-

ветственно;  $\left( \frac{N_x \times W_x}{N_0 \times W_0} \right)$  — коэффициент, рас-

считываемый по формуле (9) с поправкой на разницу в средней массе промыслового самца ( $W$ ); если неизвестный год предшествовал известному, использовали обратное значение коэффициента.

Формулы (10а) и (10б) легко выводятся при графическом представлении хода промысла, где по оси абсцисс откладываются сезоны, а по ординат — сравниваемые годы.

Пересчитанный по формуле (10) запас вновь соотносили со значением  $B_0$ , и полученный коэффициент годового прироста уже рассматривали как окончательный.

Помимо методов, указанных выше, был использован еще ряд способов оценки — замена средних уловов медианными и стандартизация средних суточных уловов по отдельным сезонам с последующим расчетом по формуле (9). Все они дали или близкие, или худшие результаты (ежегодные колебания прироста запаса были более резкими), и в дальнейшем рассматриваться не будут.

Используемые при обсуждении результатов данные учетных съемок, были взяты из материалов, обосновывающих общие допустимые уловы, и подготавливаемые специалистами филиалов ВНИРО: А. В. Лысенко, П. А. Федотовым (ТИНРО-центр), П. Ю. Ивановым, О. И. Ильиным, Э. Р. Шагиняном (КамчатНИРО), или из соответствующих публикаций (Федотов, 2017; Ильин, Иванов, 2018). Из этих же источников взяты данные по средней массе промыслового самца.

Помимо пакета Rcmdr для обработки информации использовали ПО «Картмастер. 4.1» (Бизиков и др., 2013), «MS-Excel 2010», «STATISTICA».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Корякский берег.* Средняя масса промыслового самца за весь период наблюдений была одинаковой и составляла 0,75 кг. В 2013–2014 гг. промысел велся в апреле,

**Таблица 2.** Расчет изменения плотности краба-стригуна Бэрда у Коряжского берега в 2014 г. относительно 2013 г.

Сезон	$\rho_i$	$E_i$		$C_i$		$z_i$		$(\rho_i \times E_i \times C_i) / z_i$		Комментарии
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	
I–III	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	нет данных
IV	0,08	-	20	-	-	-	-	-	-	не хватает данных
V	0,08	57	38	4,5	2,9	282	118	0,08	0,08	
(VI–V)	0,50	83	134	4,4	3,1	341	453	0,54	0,45	
XII	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	нет данных
Итого								0,61	0,53	
Коэффициент прироста 2014/2013							0,53/0,61 = <b>0,87</b>			

**Примечание.** В столбце «Сезон» цифрами обозначены номера месяцев, в скобках указан объединенный период;  $\rho_i$  — вклад ячейки;  $E_i$  — усилие (судо-сут.),  $C_i$  — средние суточные нестандартизированные уловы;  $z_i$  — сумма произведений фактора судна на затраченное им усилие.

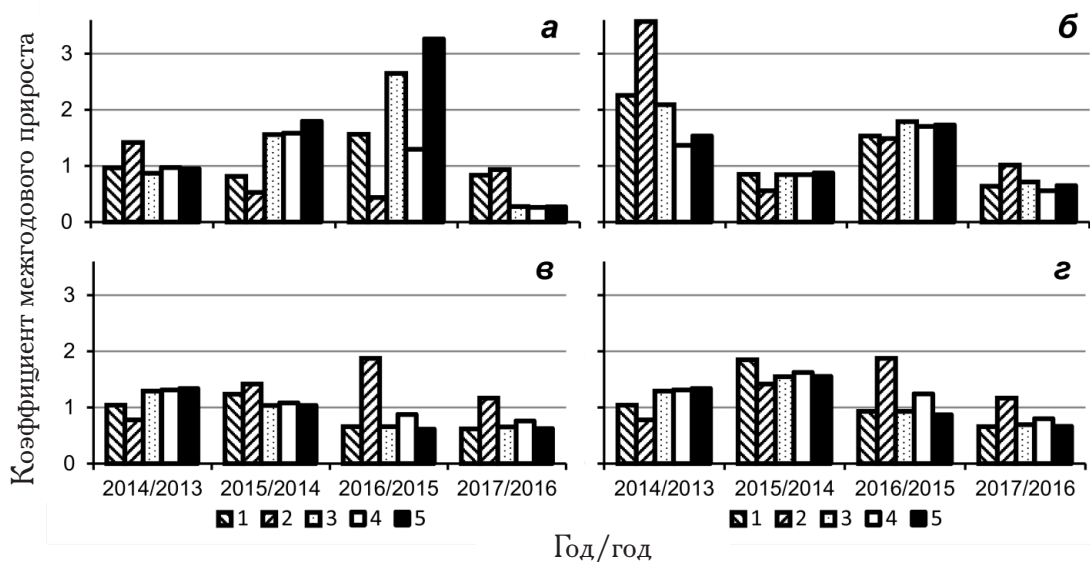
мае и июне-ноябре. Коэффициент годового прироста запаса, рассчитанный по методу 4 в 2014/2013 гг., был равным 0,87 (табл. 2). Оценка запаса методом Лесли в 2014 г. (Буяновский, 2019) дала величину в 1514 т. В 2014 г. промысел начался раньше, и в сезон IV было выловлено 155 т. Запас 2013 г., рассчитанный по формуле (10а) составил 1565 т. Итоговый коэффициент межгодового прироста, таким образом, был равным 0,97.

Аналогично рассуждая, были рассчитаны коэффициенты межгодового прироста за другие пары лет, а также их значения, полученные другими методами (рис. 3, а). Наиболее высокий прирост запаса был отмечен при использовании методов 3 и 5 соответственно. Для методов 1 и 4 максимальные значения коэффициентов прироста составляли 1,56–1,58.

*Олюторский залив.* Поскольку средняя масса промыслового самца в 2013–2015 гг. составляла 0,62 кг, в 2016–2017 гг. — 0,59 кг, то при оценке прироста в 2016/2015 гг. по формуле (9) была введена поправка на массу, равная 0,95. Оценка запаса методом Лесли в 2014 г. (Буяновский, 2019) составила 461 т.

При расчете запаса в данном районе следует учитывать, что в соседней Западно-Беринговоморской зоне, на ее границе с Карагинской подзоной, куда входит Олюторский залив, есть участок, где в отдельные годы показываются высокие суточные уловы (Буяновский, Алексеев, 2017). Все учетные съемки указывают, что промысловых скоплений здесь нет, и поэтому высокие уловы, скорее всего, связаны с «перевозкой» краба, добытого в Олюторском заливе (и показываемого как выловленного в Западно-Беринговоморской зоне). Чтобы учесть влияние этого фактора, на данном участке для каждого года был подсчитан суммарный вылов, который добавили к расчетному значению начального запаса. Поскольку ошибка оценки, связанная с недоучетом «перевезенного» улова присутствовала при использовании всех методов, то поправку (вылов между границей подзон на западе и 171°30' в.д. на востоке) добавляли ко всем расчетным значениям запаса. После этого пересчитанные значения вновь соотносили, и полученные коэффициенты межгодового прироста рассматривали как окончательные. Максимальный прирост, 3,57, был отмечен при расчете по методу 2 (рис. 3, б; табл. 3).





**Рис. 3.** Коэффициенты межгодового прироста запаса краба-стригуна Бэрда, рассчитанные как отношения: (1) — среднегодовых суточных уловов; (2) — среднегодовых суточных уловов и усилий по формуле (1); (3) — среднегодовых суточных уловов с учетом фактора судна и без учета сезонов; (4) — среднесуточных уловов, рассчитываемых по формулам (9) и (10); (5) — стандартизированных среднесуточных уловов с учетом факторов года, сезона, судна; а — Корякский берег, б — Олюторский залив, в-г — юго-западная Камчатка без поправки на площадь и с поправкой на нее соответственно.

*Юго-западная Камчатка.* В отличие от предыдущих районов здесь, начиная с 2014 г. площадь, на которой велся промысел, увеличивалась. В 2017 г., когда усилие достигло максимальных значений (1332 судо-сут.), площадь по сравнению с 2016 г. изменилась незначительно (в 1,06 раз). Без поправки на площадь (рис. 3, в) максимальный годовой прирост запаса (1,96) был отмечен для метода 2. При использовании других методов он варьировал от 1,03 до 1,42.

При учете поправок на площадь увеличились максимальные приросты, рассчитанные по методам 1 и 4, (рис. 3, г). При использовании остальных методов максимальный прирост составил 1,55–1,62.

### ОБСУЖДЕНИЕ

*Выбор оптимального метода.* Краб-стригун Бэрда, так же как и краб-стригун опилю (*Ch. opilio*), характеризуется большими размерами (промысловая мера по ши-

рине карапакса составляет в разных районах 11 или 12 см), продолжительной жизнью около 20 лет (Иванов, Соколов, 1997), сравнительно невысокой плодовитостью — около 57 тыс. яиц на самку шириной карапакса 74 мм (Чучукало и др., 2011). При таких параметрах неудивительно, что продукция взрослых особей не превышает 10% (Крылов, 2001). Если к этому добавить, что во взаимоотношениях между особями развит каннибализм (Lovrich, Saint-Marie, 1997) и достижение промыслового размера у крабов-стригунов происходит за 9–10 лет (Буяновский, Горянина, 2018), то годовой прирост плотности промысловых самцов даже выше 50% представляется маловероятным. Уменьшение плотности промыслового запаса из-за промысловой смертности, может быть любым.

Сравнение средних и максимальных положительных межгодовых приростов, полученных разными методами, показало (табл. 4), что минимальные значения характерны при применении оригинального алго-

**Таблица 3.** Пересчет коэффициентов межгодового прироста запаса краба-стригуна Бэрда в Олюторском заливе

Метод №	Коэффициенты межгодового прироста запаса				
	2014/2013	2015/2014	2016/2015	2017/2016	
1	1,50	1,52	1,56	0,51	
2	2,73	0,98	1,53	0,82	
3	1,36	1,51	1,83	0,60	
4	0,83	1,51	1,83	0,44	
5	0,95	1,57	1,76	0,54	
	Расчетный запас (т)				
	2013	2014 <sup>1</sup>	2015	2016	2017
1	308	461	701	1095	558
2	169	461	452	690	566
3	338	461	694	1268	765
4	554	461	695	1270	563
5	487	461	723	1274	688
	Запас (т) с учетом вылова между м. Олюторский и 171° 30' в.д.				
1	378	853	723	1109	704
2	239	853	474	704	712
3	408	853	716	1282	911
4	624	853	717	1284	709
5	557	853	745	1288	834
	Пересчитанные коэффициенты прироста запаса				
	2014/2013	2015/2014	2016/2015	2017/2016	
1	2,26	0,85	1,53	0,64	
2	3,57	0,56	1,49	1,01	
3	2,09	0,84	1,79	0,71	
4	1,37	0,84	1,79	0,55	
5	1,53	0,87	1,73	0,65	

**Примечание.** <sup>1</sup> — исходная величина для расчетов, оцененная методом Лесли (Буяновский, 2019); номера методов — такие же, как в «Материале и методике».

ритма (метод 4), а также при использовании обычного усреднения суточных уловов без учета усилия (метод 1). Для обоих выбранных методов средний прирост укладывается в рамки предельного уровня повышения общего допустимого улова (40%), выведенного на основе индикаторного подхода (Алексеев и др., 2017). Остальные методы характеризуются более высокими показателями, и из дальнейшего рассмотрения применительно к данным

единицам запаса они будут исключены. Вместе с тем, целесообразность применения популярной в последние годы стандартизации уловов с помощью GLM-метода (метод 5), планируется изучить дополнительно по мере накопления данных по другим запасам.

Доля вылова по отношению к запасу (оцененному по методу 4) варьировала в широких пределах от 7 до 71%, составляя в среднем ( $\pm 90\% CL$ )  $36 \pm 9\%$ . Доля выло-

**Таблица 4.** Средние и максимальные значения межгодового положительного прироста (%) плотности запаса краба-стригуна Бэрда, оцененные разными методами

Номер метода	Название метода	Средний прирост	Максимальный прирост
1	Отношение среднегодовых суточных уловов без стандартизации	41	126
2	То же, с учетом усилия <sup>1</sup>	64	257
3	Отношение среднегодовых суточных уловов с учетом фактора судна, без учета фактора сезона	61	165
4	Отношение среднесуточных уловов в одни и те же сезоны с учетом длительности сезона, фактора судна, сроков начала промысла <sup>2</sup>	34	70
5	Отношение стандартизированных среднегодовых суточных уловов с учетом факторов года, сезона, судна	67	226

**Примечание.** <sup>1</sup> Формула (1); <sup>2</sup> Формулы (9) и (10).

ва в 2017 г., после которого промысел у юго-западной Камчатки был временно закрыт, составила 69%. И хотя в других районах, даже при такой высокой доле (67–71%), подрыва запаса не происходило, представляется, что превышение 65% следует рассматривать как один из «тревожных» индикаторов (Буяновский, 2012).

*Промысловый запас общий и доступный.* Данные промысловой статистики характеризуют состояние только той части промыслового запаса, которая сосредоточена в районе промысла — доступного запаса (Буяновский, 2019). Другая его часть располагается за пределами промысловых районов, и ее оценка может быть выполнена только с помощью учетной съемки. Очевидно, что этот «объединенный» запас должен быть больше доступного, и эта закономерность, в основном, подтверждается. У Юго-Западной Камчатки доля доступного запаса (от значений, полученных по данным учетных съемок) в разные годы варьировала от 15 до 39%, в Олюторском заливе — от 23 до 41%, у Корякского берега (без данных 2016 г.) — от 41 до 94%.

Так же, как и другие источники информации, данные учетных съемок не лишены недостатков (Кадыльников, 2001; Буяновский, 2012; Алексеев и др., 2017),

из-за которых оценка запаса (методом прямого учета) может искажаться. В этой связи, нельзя исключить, что в единственном случае, когда доступный запас был выше значения, полученного по данным учетной съемки (2016 г., Корякский берег), последнее оказалось заниженным.

*Поправка на площадь.* Ежегодное изменение доступного запаса может происходить за счет изменения плотности и/или за счет изменения площади, где ведется промысел. Если площадь изменилась, то выяснить, почему это произошло, затруднительно: может измениться или территория, населенная скоплением, или степень освоения этого скопления при постоянных границах последнего. Например, если при сравнении двух лет, усилие и обследованная площадь снизились, это может означать и то, что площадь скопления уменьшилась (в силу снижения численности), и то, что в более поздний год из-за малого усилия была обследована только часть занимаемой скоплением площади. Точно также расширение площади при росте усилия может означать как то, что скопление расширилось, так и то, что в промысел вовлеклись ранее не осваиваемые участки (с такой же плотностью).

С учетом вышесказанного при регистрации изменения площади промысла тре-

буется доказать, что или в новых районах промысловых скоплений ранее не было, или в оставленных районах они исчезли. Если такие доказательства есть, то прирост запаса следует оценивать с поправкой на площадь. Если их нет, следует руководствоваться принципом, что завышение запаса более опасно для его устойчивой эксплуатации, чем занижение (Алексеев и др., 2017). Приняв это положение, можно рекомендовать при уменьшении площади динамику запаса считать с поправкой, а при увеличении — без нее.

Поскольку у юго-западной Камчатки площадь в более поздний год ни разу не уменьшалась, то прирост доступного запаса следует считать без поправки, то есть он идентичен изменению плотности.

*Скорректированная оценка запаса.* Элементы неопределенности, проявляющиеся в чрезмерном годовом приросте запаса, присутствуют во всех методах его оценки, включая учетные съемки. В этих условиях для увеличения надежности прогноза можно использовать индикаторный подход, который учитывает показатели из разных источников.

В соответствии с существующим алгоритмом (Буяновский, 2012) первый шаг заключается в выборе перечня индикаторов и установления их приоритетности. Такими индикаторами могли бы быть: данные учетных съемок (индикатор 1), прирост доступного запаса по методу 4 (2), коэффициент годового прироста нестандартизированного среднегодового суточного улова (3), доля вылова от доступного запаса в более поздний из двух сравниваемых лет (4). Приоритетным индикатором должны быть данные учетных съемок, остальные индикаторы рекомендуются применять как вспомогательные.

Следующим шагом является формулировка критериев для разделения красного, желтого и зеленого полей индикаторов. Для индикаторов 1–2 можно использовать значение в 20%, что составляет предельную амплитуду колебания для стабильного запаса по отношению к крабам-стригунам (Алексеев и др., 2017).

Ежегодное изменение запаса в пределах 80–120% будет соответствовать желтому полю, а изменение в большую или меньшую сторону — зеленому и красному полям соответственно.

Для индикатора 3 границей может быть достоверность различий ( $p < 0,05$ ) среднегодовых суточных уловов. Если они достоверно не отличаются, то индикатор находится в желтом поле, а если отличаются — в зеленом или красном.

Для индикатора 4 такими границами зеленого, желтого и красного полей могут быть значения в 45 и 65%. Первая величина соответствует верхней границе 90%-го доверительного интервала для среднего, вторая — уровню, выше которого может быть зарегистрирован перелов (см. выше).

Далее необходимо сформулировать правила оценки интегрального годового прироста в зависимости от сочетания цветов. Если все индикаторы одного цвета, то противоречий в оценке текущего состояния запаса нет, и его величина может быть оценена по приоритетному показателю — данным учетной съемки. Если один или два вспомогательных индикатора иного цвета, это означает, что в оценке запаса разными методами есть противоречия. В этом случае прирост предлагается оценивать по средней величине для индикаторов 1–3. Если иной цвет обнаруживается у всех вспомогательных индикаторов, это указывает на вероятность смещенной оценки, выполненной по данным учетной съемки, и тогда ежегодный прирост надо оценивать по данным промысловой статистики. Тем не менее, и в этом случае при принятии решения цвет основного индикатора следует учитывать. Если он зеленый, то предлагается выбрать максимальный коэффициент прироста среди индикаторов 2–3; если желтый, то следует выбрать коэффициент, который ближе всего к единице, независимо от того больше он или меньше ее; если — красный, то выбираемый коэффициент должен быть минимальным.

После оценки интегрального годового прироста требуется расчет абсолютной

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ

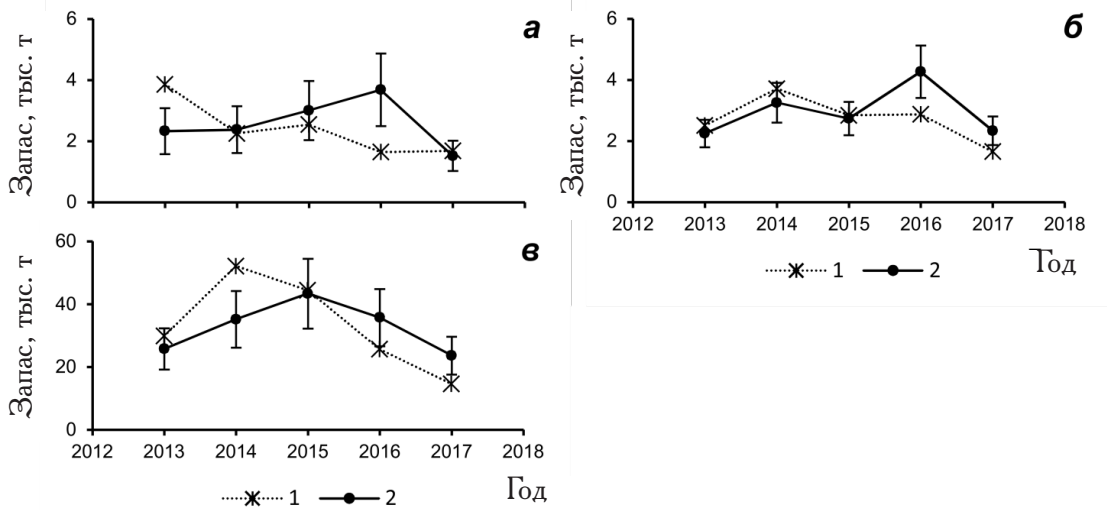
величины запаса. Поскольку при любой В итоге будет получено среднее значение, учетной съемке возможны ошибки, то для рассчитанное по результатам разных лет уменьшения неопределенности предлагается (табл. 5), которое предлагается называть брать за основу данные каждого года, опи- скорректированной оценкой (запаса), и для раясь на которые можно выполнить пересчет которого можно рассчитать доверительные рекуррентным способом (опорные данные). интервалы. Для независимости пересчетов

**Таблица 5.** Алгоритм расчета скорректированной оценки запаса на примере краба-стригуна Бэрда Олюторского залива

Шаг 1. Исходные данные для определения индикаторов					
	2013	2014	2015	2016	2017
Запас по данным учетных съемок, т	2502	3707	2840	2872	1648
Доступный запас, т	624	853	717	1223	681
Среднегодовой суточный улов, т/ судо-сут.	2,0	3,0	4,5	7,1	3,6
Вылов / (доступный запас)	0,24	0,71	0,33	0,28	0,61
Шаг 2. Расчет прироста запаса и определение цветов индикаторов (объяснение в тексте)					
№ и название индикатора	2014/2013	2015/2014	2016/2015	2017/2016	
1. Прирост запаса по данным УС	1,48 (з)	0,77 (к)	1,01 (ж)	0,57 (к)	
2. Прирост доступного запаса	1,37 (з)	0,84 (ж)	1,70 (з)	0,55 (к)	
3. Прирост среднегодовых уловов	1,50 (з)	1,52 (з)	1,56 (з)	0,51 (к)	
4. Доля вылова от доступного запаса	к	з	з	ж	
Шаг 3. Расчет интегральной оценки прироста					
	2014/2013	2015/2014	2016/2015	2017/16	
Прирост	1,45	0,84	1,56	0,55	
Комментарий	Среднее по индикаторам 1–3	Минимальное по индикаторам 2–3	Ближе к 1, по индикаторам 2–3	Среднее по индикаторам 1–3	
Шаг 4. Расчет скорректированной оценки запаса, т					
	2013	2014	2015	2016	2017
Пересчет от 2013 г.	2502	3623	3046	4754	2602
Пересчет от 2014 г.	2561	3707	3117	4866	2663
Пересчет от 2015 г.	2333	3379	2840	4434	2426
Пересчет от 2017 г.	1587	2298	1931	3015	1648
Среднее ± 90% CL	<b>2246±450</b>	<b>3252±651</b>	<b>2733±548</b>	<b>4267±855</b>	<b>2335±468</b>

**Примечание.** з, ж, к — соответствующие цвета светофора.





**Рис. 4.** Динамика биомассы запаса (тыс. т) краба-стригуна Бэрда, рассчитанного по исходным данным учетных съемок (1) и скорректированного с учетом промысловой статистики (2): а — Корякский берег, б — Олюторский залив, в-юго-западная Камчатка. По оси абсцисс — годы, по ординат — биомасса запаса, тыс. т, планки погрешностей показывают 90% доверительный интервал.

в качестве опорных данных рекомендуется использовать только те, которые были получены по результатам выполненных и репрезентативных съемок — результаты интерполяций, усреднений, данные неполных съемок брать в качестве опорных не следует. Например, в Олюторском заливе в 2016 г. съемку не делали, и расчетные данные (среднепогодные) не были использованы при вычислении скорректированной оценки (табл. 5, шаг 4).

Для большинства лет в разных районах скорректированные оценки были близки к данным учетных съемок (табл. 5; рис. 4), хотя в некоторых случаях промысловая статистика вносила определенные корректировки. Например, заметны различия для Олюторского залива в 2016 г., но именно в этот год учетных съемок в заливе не проводили, а использованное значение (2872 т) является расчетным (среднее за 2013–2015 и 2017 гг.).

Как правило, положительный ежегодный прирост скорректированной оценки запаса не превышал 40%. Отклонения от этой тенденции в Олюторском заливе могут быть связаны с относительно высокой долей незаконного вылова (см. выше), который,

в свою очередь, может исказить промысловую статистику.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скорректированная оценка запаса снимает кажущиеся противоречия между количественными методами оценки и индикаторным подходом, который в большей степени отражает качественные изменения. Заменяя собой данные прямого учета, скорректированные оценки запаса точно также могут быть использованы при прогнозировании с помощью модельных или немодельных методов. Их основным преимуществом по отношению к исходным данным учетных съемок является учет данных промысловой статистики — альтернативного независимого источника информации о состоянии запаса (Буяновский, Алексеев, 2017). Для единиц запаса, по которым регулярно выполняется научный мониторинг (работа научного сотрудника на промысловом судне), эти данные также могут быть включены в скорректированную оценку в качестве еще одного вспомогательного индикатора.

Включение в анализ доли вылова (индикатор 4) показывает, что и другие индикаторы

торы в дальнейшем могут быть использованы при расчете скорректированной оценки, и самым важным здесь является выработка соответствующих решений и правил их принятия (табл. 5).

Будучи основным индикатором при расчете скорректированной оценки, данные учетных съемок, указывают на необходимость их регулярного выполнения. Их не смогут заменить материалы промысловой статистики, которые отражают динамику только части запаса.

В соответствии с новыми принципами регулирования промысла крабов (Алексеев и др., 2017) важнейшим элементом для выработки плана эксплуатации запаса является его статус. Он выводится на основе индикаторного подхода, и поэтому скорректированная оценка запаса, интегрирующая результаты учетных съемок, промысловые уловы, затраченное усилие и вылов, может рассматриваться как основа для определения статуса, снимающая противоречия, которые могут возникать при рассмотрении каждого индикатора в отдельности.

В данной работе не учитывали, что в одной подзоне может быть несколько изолированных районов. В некоторых районах промысел в отдельные годы может прекращаться. Не для всех единиц запаса регулярно выполняются учетные съемки. Некоторые скопления могут располагаться в нескольких подзонах. Учету всех этих обстоятельств при расчете скорректированной оценки запаса планируется посвятить следующую работу, где будет рассмотрена динамика запасов близкого вида — краба-стригуна опилио.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю искреннюю признательность своему коллеге, к.б.н. Л.К. Сидорову (ФГБНУ «ВНИРО»), предоставившему первичные данные из отраслевой системы мониторинга. Благодарю также главного научного сотрудника ФГБНУ «ВНИРО» д.т.н. Т.И. Булгакову за ценные критические замечания, высказанные при чтении рукописи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Д.О., Буяновский А.И., Бизиков В.А. Принципы построения единой стратегии регулирования промысла крабов в морях России // *Вопр. рыболовства*. 2017. Т. 18. № 1. С. 21–41.

Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО, 2018. 312 с.

Бабаян В.К., Булгакова Т.И., Васильев Д.А. и др. Оценка запасов и ОДУ минтая восточной части Охотского моря с использованием данных ИС «Рыболовство» // *Тр. ВНИРО*. 2014. Т. 151. С. 3–17.

Баканев С.В. Оценка запаса камчатского краба в Баренцевом море с использованием моделей истощения // *Вопр. рыболовства*. 2015. Т. 16. № 4. С. 465–476

Бизиков В.А., Буяновский А.И., Гончаров С.М. и др. Базы данных и информационные системы в управлении водными биологическими ресурсами // *Матер. I науч. шк. молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии*. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. С. 108–133.

Буяновский А.И. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. 222 с.

Буяновский А.И. Использование промысловой статистики для районирования акватории при исследовании морских донных беспозвоночных // *Вопр. рыболовства*. 2018. Т. 18. № 4.

Буяновский А.И. К использованию моделей истощения для оценки промысловых запасов крабов // *Там же*. 2019. Т. 20, № 1. С. 107–122.

Буяновский А.И., Алексеев Д.О. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // *Там же*. 2017. Т. 18, № 3. С. 268–282.

Буяновский А.И., Горянина С.В. Возрастной состав самцов краба-стригуна опи-

лио в ловушечных уловах в Баренцевом море // Там же. 2018. Т. 19, № 3. С. 327–342.

Иванов Б.Г., Соколов В.И. Краб-стригун *Chionoecetes opilio* (Crustacea Decapoda, Brachyura Majidae) в Охотском и Беринговом морях // *Arthropoda Selecta*. 1997. Т. 6, вып. 3–4. С. 63–86.

Ильин О.И., Иванов П.Ю. К оценке состояния запасов краба-стригуна Бэрди Камчатско-Курильской подзоны // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. 2018. Вып. 50. С. 27–33.

Кадильников Ю.В. Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов. Калининград: Изд-во. АтлантНИРО, 2001. 277 с.

Крылов В.В. Отношение годовой продукции к биомассе промысловых самцов краба-стригуна *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) // Исслед. биологии промысловых ракообразных и водорослей морей России М.: Изд-во ВНИРО, 2001. С. 92–93.

Чучукало В.И., Надточий В.А.,

Федотов П.А., Безруков Р.Г. Питание и некоторые черты биологии краба стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*) в Чукотском море // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 167. С. 197–206.

Федотов П.А. Текущее состояние запасов краба-стригуна берди и ближайшие перспективы его промысла в западно-беринговоморской зоне // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГТУ. 2017. С. 181–185.

Шагинян Э.Р. Состояние запаса и оценка численности синего краба (*Paralithodes platypus*, Brandt) Западно-Камчатской подзоны в путину 2013 г. // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. 2014. Вып. 35. С. 56–62.

Lovrich G.A., Sainte-Marie B. Cannibalism in the snow crab, *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) (Brachyura, Majidae), and its potential importance to recruitment // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1997. V. 211. N 2. P. 225–245.

## USE OF FISHERIES STATISTICS FOR THE TANNER CRAB STOCK DYNAMICS

© 2019 y. A. I. Buyanovsky

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140*

Several methods of the of the stock increment estimation based on the tanner crab daily catches dynamics are analyzed for three populations. The estimated annual increment occurs minimal if both (1) the fisheries period is divided into several seasons, (2) the vessel factor is taken into account, (3) average daily catches are calculated for each season. The deviation on the square change is recommended to be applied for the estimation of the stock change only if the square decreases. If it increases the deviation should be applied if it is proved that the new fishery aggregations appeared. Algorithm of the calculation of available stock dynamics is given. Calculation of the corrected stock assessment based on the indicator approach (traffic-light method) and taken in account the data of both sample surveys and fisheries statistics is proposed.

**Keywords:** fisheries, catch per effort (CPUE), stock density, tanner crab, standardization, general linear models, traffic-light method