

## ДИНАМИКА ПРОМЫСЛОВЫХ ЗАПАСОВ СИНЕГО КРАБА В МОРЯХ РОССИИ С УЧЕТОМ ДАННЫХ ПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ

© 2020 г. А. И. Буяновский

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

Поступила в редакцию 2.09.2020

По данным учетных съемок и промысловой статистики приводятся скорректированные оценки промысловых запасов синего краба в морях России за 2013–2019 гг. Если учетные съемки были репрезентативными, то расхождения между оценками запаса по их данным, и оценками, полученными с привлечением промысловой статистики, были незначительны. Сопоставление динамики скорректированных оценок с биологическими ориентирами по биомассе позволило уточнить статусы каждой единицы запаса. К 2020 г. наиболее крупные запасы, несмотря на тенденцию к снижению, продолжали находиться в благополучном состоянии.

**Ключевые слова:** промысел, улов на усилие, оценка запаса, синий краб, обобщенные линейные модели, метод светфора, ОДУ.

### ВВЕДЕНИЕ

Ранее (Буяновский, 2019 а, б; 2020), на примере крабов-стригунов Бэрда (*Chionoecetes bairdi*) и опилио (*Ch. opilio*), был предложен алгоритм привлечения промысловой статистики к корректировке оценок запасов морских донных беспозвоночных по материалам учетных съемок (выполняемых методами прямого учета). Алгоритм состоит из ряда этапов: районирование акватории (на которой обитает исследуемая единица запаса) и разделение календарного года на сезоны; оценка запаса в опорный год по данным промысловой статистики методом Лесли; рекуррентный расчет запасов в остальные годы; индикаторная оценка межгодовых изменений состояния запаса «методом светфора»; вычисление интегрированных оценок годовых приростов запаса; корректировка оценок, выполненных по материалам учетных съемок. Оценка, получаемая после корректировки — скорректированная оценка запаса, позволяет учитывать как результаты учетных съемок, так и данные с промысла.

Предложенный алгоритм позволяет оценить запас в годы, когда учетные съемки не выполняли. Можно оценивать запас в районах, где в определенные годы промысла не было. Если популяция состоит из нескольких промысловых скоплений, то динамику запаса можно проследить в каждом из них (Буяновский, 2020).

Помимо крабов-стригунов к приоритетным видам крабов (Приказ Росрыболовства от 6 февраля 2015 г. № 104) относятся два вида крабоидов (семейство Lithodidae) — камчатский (*Paralithodes camtschaticus*) и синий (*P. platypus*) крабы. В промысловой биологии обеих таксономических групп есть много общего, и алгоритм расчета скорректированной оценки запаса, разработанный для крабов-стригунов, вполне может быть применен к крабоидам. Вместе с тем, последние обладают рядом особенностей (отсутствие терминальной линьки, более высокая подвижность), которые могут потребовать модификации алгоритма. Для этого в качестве объекта исследований вначале были выбраны популяции синего краба с менее сложной

пространственной структурой по сравнению с камчатским крабом (Слизкин, Сафронов, 2000; Мельник и др., 2014). Цель данной работы можно определить как корректировку (немодельных) оценок запаса синего краба в морях России, и ее применение для анализа их динамики в последние годы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для анализа промысловой статистики послужили судовые суточные донесения (ССД) из базы данных отраслевой системы мониторинга Росрыболовства (ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи»), которые содержат следующие сведения: по виду объекта промысла, по рыбопромысловой зоне/подзоне, по судну, дате, орудию лова, суточному вылову одним судном (т/судо-сутки промысла, далее — улову), среднесуточным координатам (далее — промысловым станциями), режиму лова. Промысловое усилие (далее — усилие) считали как число суток, проведенных всеми судами на промысле в течение года (судо-сутки).

Основными районами промысла (далее — регионами) синего краба являются: (рыбопромысловая) зона Западно-Берингово-морская, подзоны Северо-Охотоморская, Западно-Камчатская, Восточно-Сахалинская, Приморье (границы указаны в Приложении № 1 к Правилам рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна — Приказа Минсельхоза России от 23 мая 2019 г. № 267).

Для математической обработки использованы материалы, собранные не ранее 2013 г., когда значения уловов, содержащиеся в ССД, стали более или менее достоверными (Шагинян, 2014). Из них были отобраны ССД, относящиеся к промышленному или прибрежному режиму лова, выполнявшемуся крабовыми ловушками. Если в одни и те же сутки в одном регионе одно судно выполняло лов и в прибрежном, и в промышленном режиме, то уловы (отраженные в двух ССД, поданных в одни сутки) суммировали.

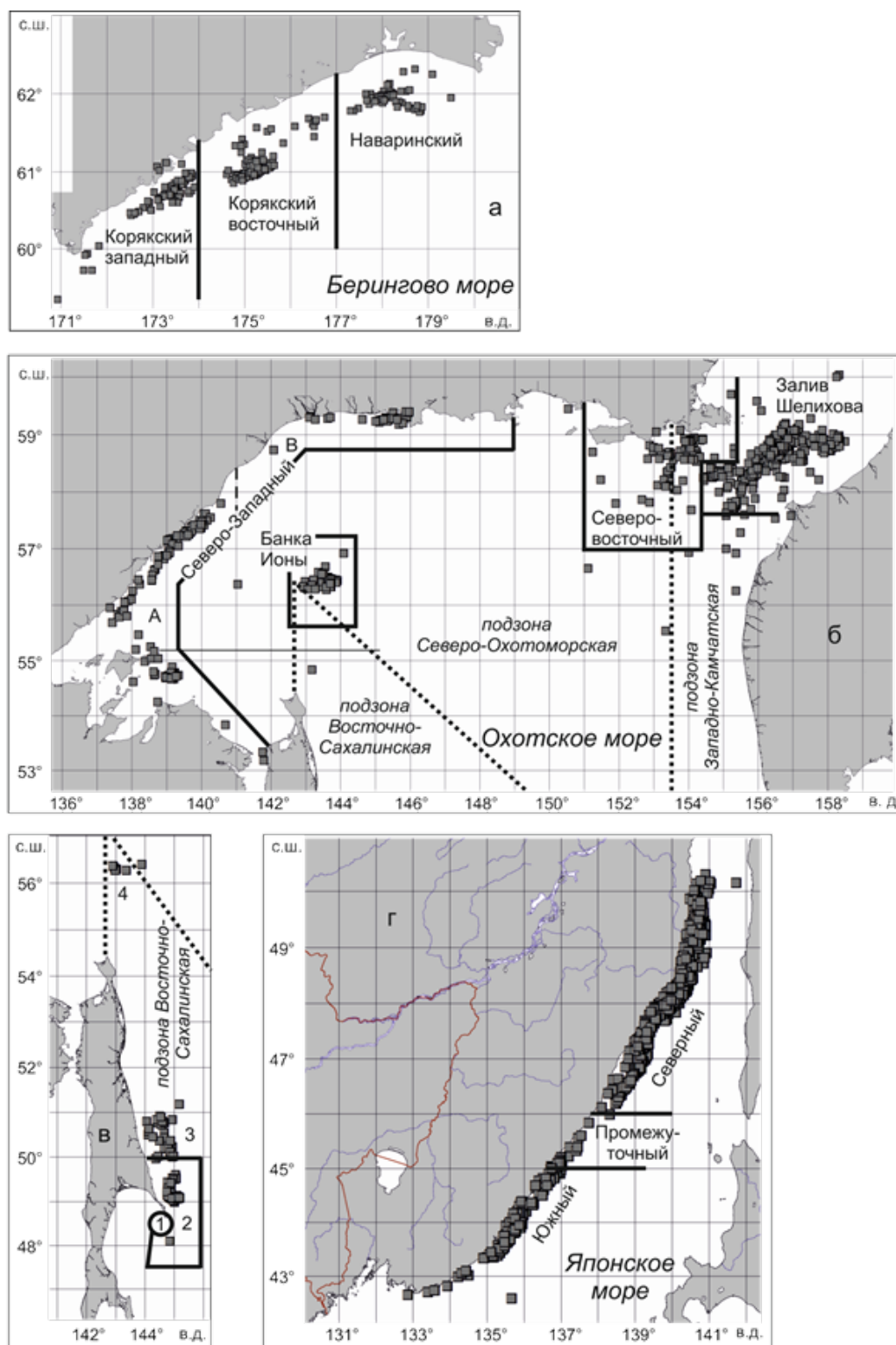
При районировании регионов использовали те же методы, что и ранее (Буяновский, Алексеев, 2017; Буяновский, 2020), сохраняя традиционное деление в качестве приоритетного.

В Западно-Берингово-морской зоне было выделено три района с границами по  $173^\circ$  и  $176^\circ$  в.д.: Корякский западный, Корякский восточный и (традиционный) Наваринский (рис. 1 а).

В Западно-Камчатской подзоне почти весь промысел сосредоточен в глубоководном каньоне у входа в зал. Шелихова (Шагинян, 2019), и этот участок был выделен в первый район (далее — Залив Шелихова). Помимо каньона, часть промысловых станций была отмечена западнее, и она была объединена со станциями соседней, Северо-Охотоморской подзоны, в границах второго района — Северо-Восточного. С учетом частоты встречаемости промысловых станций, границу между двумя районами (зал. Шелихова и Северо-Восточным) провели по  $155^\circ 20'$  в.д. к северу от  $58^\circ 30'$  с.ш. и по  $154^\circ 20'$  в.д. — к югу от этой широты (рис. 1 б). Третий район — Банка Ионы, занимает относительно изолированную акваторию у границы с Восточно-Сахалинской подзоной на Четвертый район — Северо-Западный, включающий побережье северо-западной части Охотского моря, был разделен на подрайоны А и В с границей вдоль  $141^\circ$  в.д. (рис. 1 б).

В подзоне Восточно-Сахалинская район традиционного промысла занимает небольшую акваторию восточнее зал. Терпения (рис. 1 в: 2). Промысловые станции, выполненные в 2014 к северу от  $50^\circ$  с.ш. (рис. 1, в: 3), характеризовались крайне низкими уловами, и при оценках запаса их не учитывали. Несколько станций, отмеченных в 2013–2014 гг. в северной части подзоны (рис. 1, в: 4), были отнесены к Банке Ионы (см. выше).

В подзоне Приморье, опираясь на данные о частоте встречаемости промысловых станций в меридиональном направлении, границы между тремя районами (Северным,



**Рис. 1.** Районирование акваторий обитания синего краба на примере расположения промысловых станций в отдельные годы, сплошные линии — границы между районами, пунктирные линии — границы между зонами/подзонами: а — зона Западно-Беринговоморская, 2014 г.; б — подзоны Северо-Охотоморская и Западно-Камчатская 2014 г., А и В — подрайоны Северо-Западного района; в-подзона Восточно-Сахалинская 2014 г.: 1 — запретная зона вокруг о. Тюлений, 2 — основной промысловый район; 3 — район промысла в 2014 г., 4 — южная часть банки Ионы; г — подзона Приморье, 2018 г.

**Таблица 1.** Сезоны, выделенные для разных регионов промысла синего краба

Зона/Подзона	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Западно-Беринговоморская	(1–3)			4	5	6	(7–10)				(11–12)	
Западно-Камчатская и Северо-Охотоморская	(1–3)			(4–5)		(6–7)		-	-	(10–12)		
Восточно-Сахалинская	-	-	-	(4–5)		-	-	-	-	(10–12)		
Приморье	(1–2)		3	(4–6)			-	-	(9–12)			

Промежуточным и Южным) были проведены по 45° и 46° с.ш. (рис. 1, г).

Выделение сезонов выполняли для каждого региона методом полной стандартизации (Буяновский, 2020). Для этого данные по каждому из 4 регионов (табл. 1) за 2013–2019 гг. вначале объединили в 4 массива. В каждом массиве каждая строка содержала данные по улову, названию судна, району, году и календарному месяцу. Далее для каждого массива в программной среде R, в рамках обобщенной линейной модели (GLM), вычисляли коэффициенты влияния на улов факторов года, района, месяца, судна. Если различие между коэффициентами, вычисленными для двух соседних месяцев, было недостоверным, эти месяцы объединяли в сезон (перекодируя соответствующие строки), и модифицированный массив обрабатывали повторно, для пересчета коэффициентов. Процедуру обработки заканчивали после того, как различия между коэффициентами, рассчитанными для всех выделенных (соседних) сезонов (табл. 1), становились достоверными.

Расчет запаса по данным промысловой статистики методом Лесли выполняли в соответствии с алгоритмом, основанном на стандартизации данных с отдельных судов (Буяновский, 2019 а). Выбор года, для которого рассчитывается опорное значение (значения за остальные годы рассчитываются рекуррентным способом) выполняли так же, как и для краба-стригуна опилю

(Буяновский, 2020). Вначале запас оценивали для каждого года. Зависимость между стандартизированным уловом и кумулятивным выловом описывали полиномом третьей степени. Для каждого года, в границах нисходящей ветви полинома — базового ряда наблюдений, считали общее число дат ( $Q$ ), и число дат, когда подавались ССД ( $q$ ). Для оценки влияния обоих показателей использовали индекс  $I = q^2 / Q$  (табл. 2), который для выбираемого (опорного) года должен был быть наибольшим. Если для нескольких лет значения индекса были близки, выбирали тот год, где первая дата базового ряда была ближе к началу промысла. Независимо от выбранного временного интервала, считали, что все оценки относятся к 1 января того года, в который они выполнялись.

Поскольку лов ведется не на всей акватории, занимаемой популяцией, а только на доступных для промысла скоплениях, то промысловый запас, оцениваемый по данным промысловой статистики, в дальнейшем будет называться доступным, в отличие от «традиционного» промыслового запаса, оцениваемого по данным учетных съемок. Доступный запас всегда меньше (традиционного) промыслового запаса, который помимо скоплений включает участки с низкой (фоновой) плотностью, где промысел не ведется.

Относительный годовой прирост запаса оценивали по формуле (Буяновский, 2019 б):

**Таблица 2.** Опорные значения доступного запаса синего краба в разных районах, характеристика лет, выбранных для расчета, и размер стороны учетного квадрата (° с.ш.) для оценки изменения площади

Зона / Подзона	Район	Индекс <i>I</i>	Год	Даты оценки	Запас, тыс.т ( $\pm 90\% CL^1$ )	° с.ш. <sup>2</sup>
Западно-Берингоморская	Корякский западный	42	2018	17,02–08,07	$1,68 \pm 0,01$	10
	Корякский восточный	47	2019	22,02–01,05	$2,55 \pm 0,04$	
	Наваринский	25	2018	24,04–04,07	$1,00 \pm 0,05$	
Западно-Камчатская и Северо-Охотоморская	Залив Шелихова	40	2015	15,05–27,07	$4,67 \pm 0,23$	8
	Северо-Восточный	23	2017	26,06–31,07	$0,80 \pm 0,01$	13
	Банка Ионы	24	2014	03,10–04,11	$0,23 \pm 0,01$	-
	Северо-западный, А	27	2013	24,06–29,07	$0,20 \pm 0,01$	-
	Северо-западный, В	10	2013	15,07–31,07	$0,23 \pm 0,04$	-
Восточно-Сахалинская		27	2018	26,04–24,05	$0,17 \pm 0,03$	-
Приморье	Северный	84	2018	22,01–23,04	$0,59 \pm 0,04$	10
	Южный	29	2019	06,01–15,04	$0,15 \pm 0,01$	
	Промежуточный	11	2019	16,03–13,05	$0,06 \pm 0,00$	

**Примечание.** <sup>1</sup> — доверительный интервал; <sup>2</sup> — каждой ° с.ш. соответствует 2' в.д.



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

где  $t$  и  $t-1$  — текущий и предшествующий годы,  $B$  — доступный промысловый запас,  $S$  — площадь, занимаемая доступным запасом;  $p_i$  — доля временной ячейки (сезона) от 0 до 1;  $C_i$  — средний суточный улов в ячейке;  $E_i$  — суммарное усилие (судо-сут.) в ячейке;  $K_i$  — число судов в ячейке,  $e_{k_i}$  — усилие  $k$ -го судна в ячейке;  $f_k$  — коэффициент, зависящий от особенностей судна (числа ловушек, видов приманки, тактики лова и т.п.), и в дальнейшем называемый фактором судна. Для его расчета использовали метод попарной стандартизации, когда в массиве, состоящем из данных за 2 соседних года, в программной среде R, в рамках обобщенной линейной модели (GLM), вычисляли коэффициенты влияния на улов (факторов) года, сезона, судна.

Если в сравниваемые годы промысел начинался не в один и тот же сезон, то вводили поправки, формулы которых содержат данные о вылове в более ранние сезоны (Буяновский, 2019 б, 2020).

Для оценки обследованной площади (Буяновский, 2019 б, 2020) вначале вычисляли оптимальную сторону учетного квадрата — ограниченного параллелем и меридианами прямоугольника, из которого было подано  $\geq 10$  ССД (табл. 2), а затем, для каждого года — сумму учетных квадратов (Буяновский, 2019 б). После расчета площадей решение о введении их соотношений в формулу (1) для каждого района и каждой пары сравниваемых лет, принимали с учетом межгодовых различий в усилии (см. раздел «Результаты»). В качестве «нулевой гипотезы» полагали, что реальная площадь, занимаемая промысловыми скоплениями, на протяжении ряда лет не менялась.

Для Банки Ионы и Восточно-Сахалинской подзоны из-за малого числа про-

мысловых станций и их компактного расположения, считали, что площадь из года в год не менялась. То же считали и для Северо-Западного района Северо-Охотоморской подзоны, где промысловые скопления фактически отсутствуют, и синий краб добывается как прилов к камчатскому.

Данные учетных съемок были взяты из открытой печати (Шагинян, 2019; Федотов, 2017) и материалов, обосновывающих общие допустимые уловы подготовленных специалистами филиалов ВНИРО: в Западно-Беринговоморской зоне — П.А. Федотовым, И.С. Черниенко, А.В. Лысенко (ТИНРО), А.В. Винниковым, Р.Л. Батановым (Чукотский филиал ВНИРО); подзоне Западно-Камчатская — Э.Р. Шагиняном, О.И. Ильиным, П.Ю. Ивановым (КамчатНИРО), Д.О. Сологубом (ВНИРО); подзоне Северо-Охотоморская — С.В. Клинушкиным (МагаданНИРО), А.В. Харитоновым (ХабаровскНИРО); подзоне Восточно-Сахалинская — А.А. Михеевым, И.С. Черниенко, Е.Р. Первеевой (СахНИРО); подзоне Приморье — О.Г. Борилко, В.Н. Кобликовым, А.С. Хлебородовым, И.С. Черниенко (ТИНРО), В.И. Островским, А.В. Харитоновым (ХабаровскНИРО). Оценки запасов с помощью моделей (Ильин, Иванов, 2015; Черниенко, 2015) были выполнены О.И. Ильиным для Залива Шелихова и И.С. Черниенко для остальных районов.

Этими же экспертами были предложены значения биологических ориентиров, обобщенные в Протоколе заседания Научно-консультационного совета по крабам и крабоидам при Совете директоров научных организаций Росрыболовства от 21 августа 2018 г.

Межгодовые изменения состояния запаса оценивали с помощью индикаторного подхода (Буяновский, 2019 б, 2020). Первые три индикатора были такими же, как и для крабов-стригунов: годовой прирост запаса по данным учетных съемок (индикатор 1), годовой прирост по величине доступного запаса (2), прирост среднегодового суточ-

ного (не стандартизированного) улова (3). В зависимости от величины прироста каждому индикатору присваивали один из трех цветов светфора (табл. 3).

При расчете прироста по индикатору 1 использовали только оценки запасов, полученные методом прямого учета (как правило — с помощью ГИС «Картмастер»); оценки по моделям или среднелетние значения в расчетах не использовали. При отсутствии промысла в отдельных районах годовой прирост доступного запаса в них оценивали с помощью метода полной стандартизации (см. выше). В оценках прироста по индикаторам 1–2 границы желтого поля были сужены до  $\pm 16\%$ , соответствующим колебаниям стабильного запаса для крабондов (Алексеев и др., 2017).

Расчет среднегодового суточного улова, исходной информации для индикатора 3, выполняли путем усреднения всех ССД, относящихся к промышленному и прибрежному лову и поданных в течение года из региона без разделения на районы. Только в подзонах Северо-Охотморская и Западно-Камчатская уловы считали в каждом из 4 выделенных районов (рис. 1 б). В Северо-Западном районе из-за малого числа ССД и сильного размаха варьирования уловов средние были заменены медианами, которые менее чувствительны к колебаниям крайних значений.

В качестве четвертого индикатора для крабов-стригунов использовали долю вылова от доступного запаса. Целесообразность его применения была обусловлена возможностью найти приемлемое обоснование для установления границы между полями индикатора (красным-желтым-зеленым). Для синего краба такого обоснования найти не удалось, и поэтому индикатор был модифицирован.

Изменение доступного запаса в течение года происходит вследствие легального промысла и результирующего вклада неучтенных факторов (Михеев и др., 2007), к которым относятся миграции, естественная смертность, пополнение пререкрутами и бра-

коньерский промысел. Рассчитать величину вклада можно как разницу между доступными запасами (на начало) последующего и текущего года плюс значение вылова. Фактически результирующий вклад неучтенных факторов можно рассматривать, как годовую продукцию промыслового запаса (далее —  $P$ ) на акватории, занимаемой промысловым скоплением. При равенстве  $P$  и вылова ( $Y$ ) доступный запас будет стабильным, при прочих соотношениях он будет увеличиваться и или уменьшаться. Следовательно, соотношение  $P/Y$  можно использовать в качестве одного из индикаторов. Поскольку для крабондов стабильным считается запас, годовой прирост которого находится в диапазоне  $\pm 16\%$  (Алексеев и др., 2017), то при соотношении  $P/Y$  в диапазоне 0,84–1,16 данному индикатору можно присвоить желтый цвет. Если соотношение больше 1,16 — зеленый, если меньше или  $P < 0$  — красный.

Еще одним, пятым, индикатором, отражающим состояние запаса, является пополнение, которое у крабондов, в отличие от крабов-стригунов, может быть вычислено по размерному составу, без дополнительных измерений клешни. В целом, для синего краба к пополнению относят особей ШК 115–129 мм в Западно-Беринговоморской подзоне, 120–129 мм — в подзоне Западно-Камчатская и 110–129 мм — в подзоне Приморье. Когда величину пополнения в первоисточнике (том же, что и для учетных съемок) не указывали, его вычисляли как долю соответствующего размерного класса от общей или промысловой численности. Расчет долей выполняли через оцифровку соответствующих гистограмм. Границы между полями индикатора устанавливали по значениям перцентилей 33,3 (ниже — красный) и 66,7 (выше — зеленый) (Буяновский, 2012). Перцентили рассчитывали по временным рядам с конца 1990-х — начала 2000-х гг. Индикаторным считали меньший из 2 лет, по которым выполняли сравнение (табл. 3).

Правила вычисления интегрированной оценки прироста запаса (табл. 3) были

**Таблица 3.** Алгоритм расчета скорректированной оценки запаса синего краба на примере Западно-Беринговоморской зоны

Шаг 1. Исходные данные для определения индикаторов											
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
Запас по данным учетных съёмок, тыс. т		13,4	24,7	30,4	42,0	43,5	-	40,0			
Доступный запас, тыс. т <sup>1</sup>		3,0	5,3	5,9	5,1	6,5	5,0	6,0			
Среднегодовой суточный улов, т/судо-сут.		3,0	5,4	6,1	6,2	11,2	7,1	7,3			
Вылов, тыс. т		0,9	1,6	1,9	2,2	3,0	3,9	4,0			
Перекрытия, млн. экз.		4,2	4,6	2,4	1,9	1,4	-	-			
Шаг 2. Расчет годового прироста запаса и определение цветов индикаторов											
№ и название индикатора	2014/ 2013	2015/ 2014	2016/ 2015	2017/ 2016	2018/ 2017	2019/ 2018					
1. Прирост запаса по данным учетных съёмок	1,83 (з)	1,23 (з)	1,38 (з)	1,04 (ж)	-	-					
2. Прирост доступного запаса	1,75 (з)	1,11 (ж)	0,87 (ж)	1,27 (з)	0,77	1,19					
3. Прирост среднегодовых уловов	1,79 (з)	1,13 (з)	1,02 (ж)	1,80 (з)	0,63	1,04					
4. $P / Y$ (годовая продукция / вылов)	2,30 (з)	0,30 (к)	0,85 (ж)	1,59 (з)	0,73	1,12					
5. Перекрытия	з	з	з	ж	к	-					
Шаг 3. Расчет интегральной оценки прироста запаса											
		1,83 <sup>2</sup>	1,16 <sup>3</sup>	1,09 <sup>3</sup>	1,37 <sup>3</sup>	0,73 <sup>4</sup>	1,11 <sup>4</sup>				
Шаг 4. Расчет скорректированной оценки запаса, тыс. т											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019				
Пересчет от 2013 г.	13,4	24,7	28,6	31,2	42,7	29,8	33,2				
Пересчет от 2014 г.	13,4	24,7	28,6	31,2	42,7	29,8	33,2				
Пересчет от 2015 г.	14,3	26,3	30,4	33,2	45,5	31,8	35,4				
Пересчет от 2016 г.	18,1	33,2	38,5	42,0	57,5	40,2	44,7				
Пересчет от 2017 г.	13,7	25,1	29,1	31,8	43,5	30,4	33,8				
Пересчет от 2019 г.	16,2	29,7	34,4	37,6	51,5	36,0	40,0				
Среднее $\pm$ 90% CL	14,9 $\pm$ 1,4	27,3 $\pm$ 2,4	31,6 $\pm$ 3,0	34,5 $\pm$ 3,2	47,2 $\pm$ 4,4	33,0 $\pm$ 3,1	36,7 $\pm$ 3,4				

**Примечание.** <sup>1</sup>— просуммировано по трем районам; <sup>2</sup>— взято значение индикатора 1; <sup>3</sup> — взято среднее значение для индикаторов 1–3; <sup>4</sup> — взято среднее значение для индикаторов — 2–3, определение цветовой индикаторов не требуется; з, ж, к — соответствующие цвета светотона.



такими же, как для крабов-стригунов (Буяновский, 2020).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

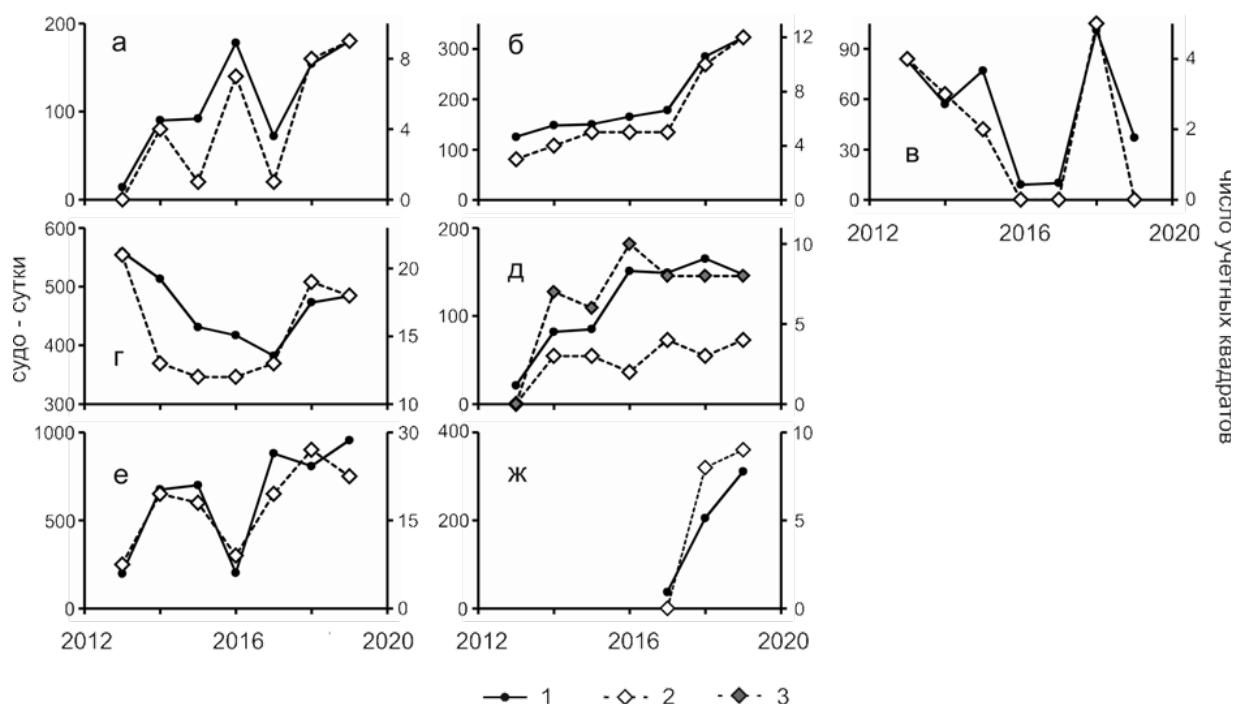
*Зона Западно-Берингоморская.* Тесная зависимость обследованной площади скоплений от величины усилия (рис. 2 а-в) не указывает на то, что реальная площадь менялась. Соответственно, при оценке доступных запасов в разные годы ни для одного из районов поправку на площадь в формулу (1) не вводили.

В Наваринском районе (рис. 2 в), где значения усилия в 2016–2017 гг. были слишком малы для вычислений по формуле (1), для рекуррентной оценки доступного запаса использовали коэффициенты, рассчитанные методом полной стандартизации.

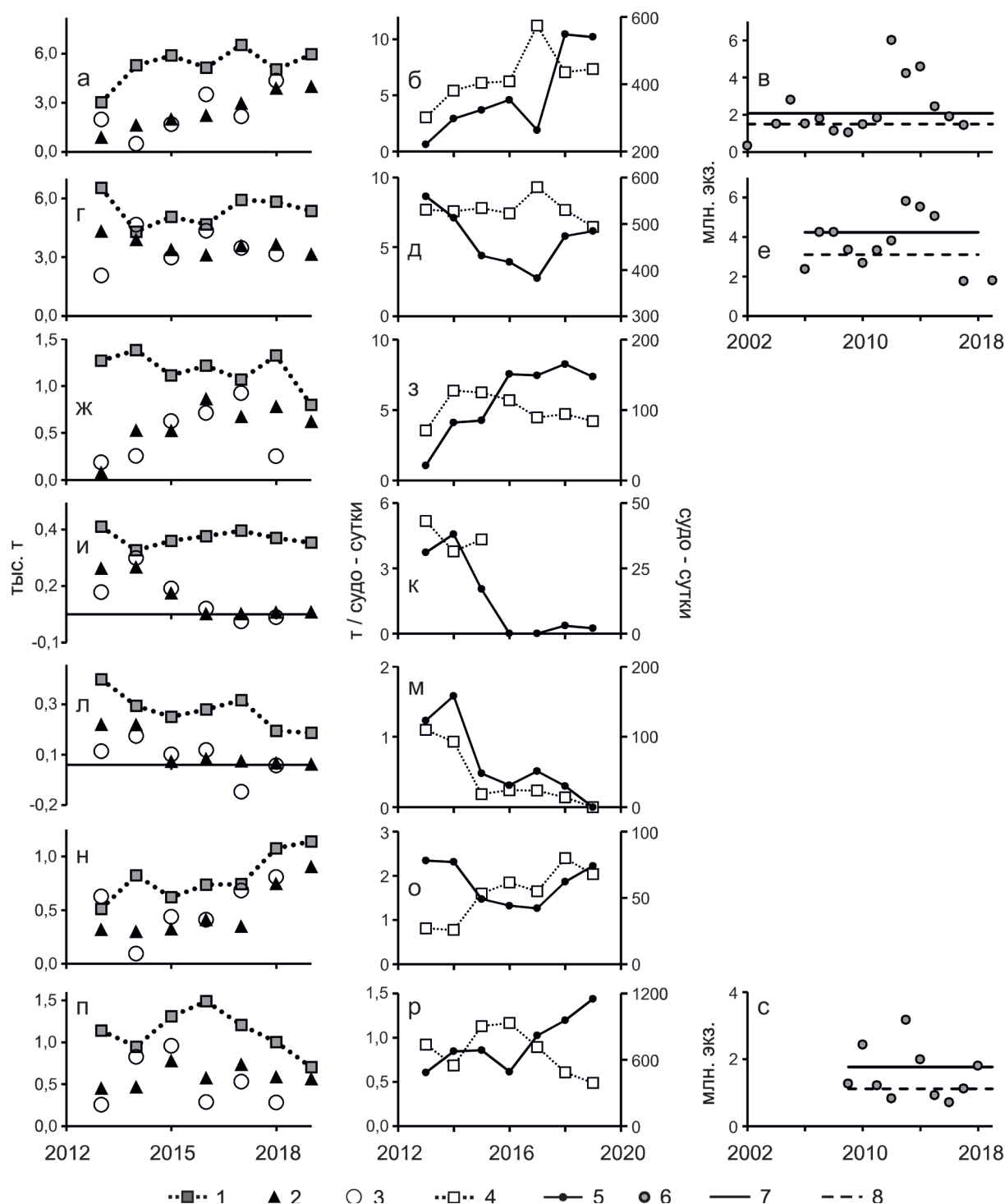
В остальные годы (и в остальных районах) применяли формулу (1).

Величина доступного запаса, заметно увеличившись к 2014 г., затем стабилизировалась (рис. 3 а). Среднегодовые суточные (не стандартизированные) уловы с 2014 г. постепенно увеличивались. Резкий скачок уловов в 2017 г. совпал с не менее резким снижением усилия (рис. 3 б). Численность пререкрутов уменьшалась с 2014 г. (рис. 3 в), и в 2019 г., скорее всего, находилась в депрессивной (Алексеев и др., 2017) зоне.

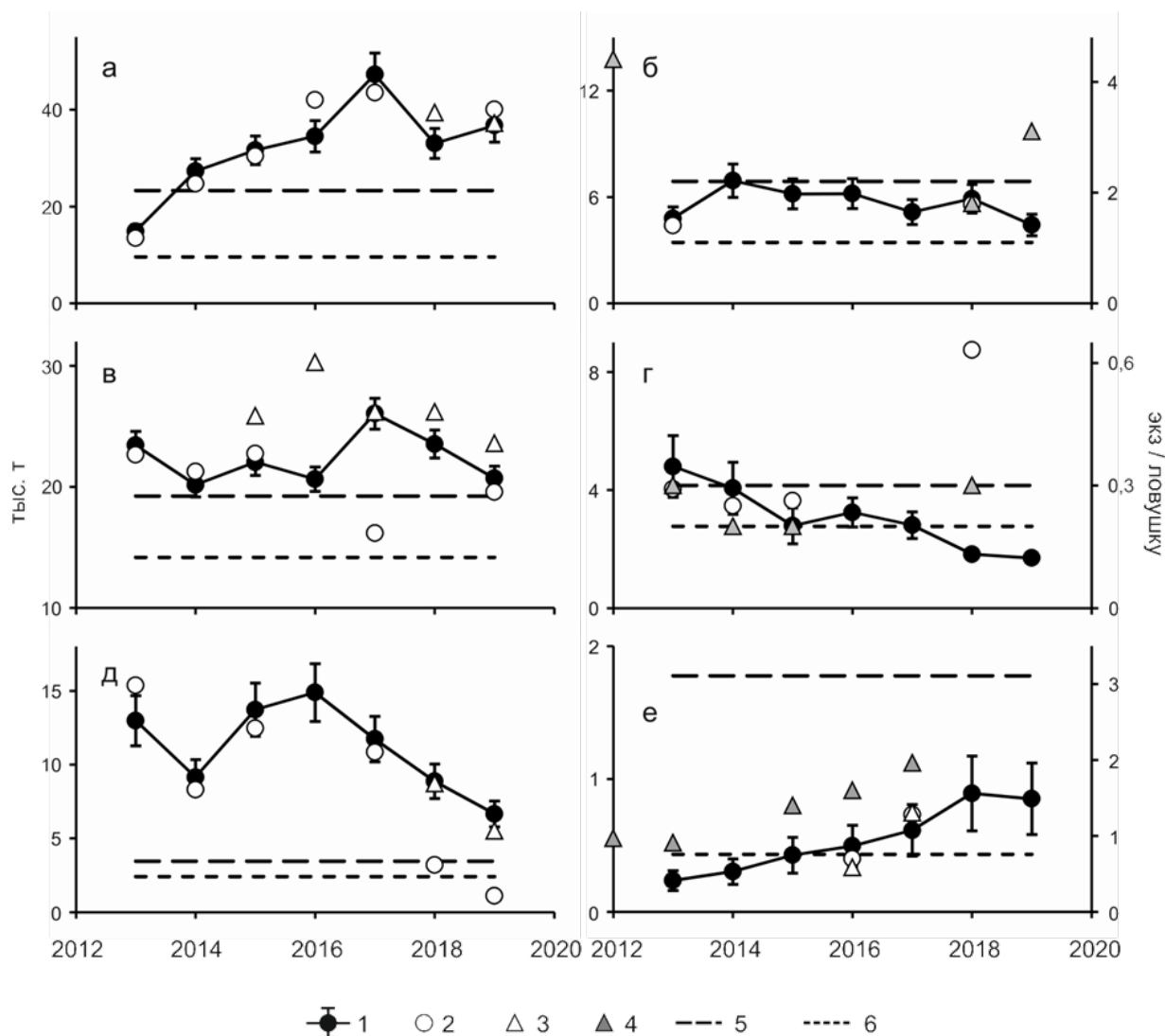
Скорректированные оценки запаса, рассчитанные по материалам учетных съемок 2013–2017 и 2019 гг. (табл. 3), в целом, хорошо коррелировали с оценками, выполненными методами прямого учета и с помощью модели (рис. 4 а). Так же как и другие оценки, скорректированное значение после



**Рис. 2.** Динамика усилия (1, судо-сут.) и обследованной площади (2–3, суммарного числа квадратов, в пределах каждого из которых было подано  $\geq 10$  и  $\geq 5$  ССД соответственно) промысловых скоплений синего краба в разных районах: а-в — Западно-Берингоморская зона с районами Корякский западный, Корякский восточный, Наваринский соответственно; г — Залив Шелихова Западно-Камчатской подзоны; д — Северо-Восточный район подзон Северо-Охотоморская и Западно-Камчатская; е-ж — подзона Приморье, районы Северный и Южный соответственно.



**Рис. 3.** Динамика показателей состояния запасов синего краба: а-в — зона Западно-Беринговоморская; г-е — залив Шелихова, ж-з — Северо-Восточный район, и-к — банка Ионы, л-м — Северо-Западный район, н-о — подзона Восточно-Сахалинская, п-с — подзона Приморье. 1 — доступный запас, тыс. т; 2 — вылов, тыс. т; 3 — продукция, тыс. т; 4 — среднегодовые суточные уловы, т/судо-сут.; 5 — усилие, судо-сут.; 6 — численность пререкрутов-1, млн. экз.; 7—8 — нижняя граница благополучной и верхняя граница депрессивной зоны соответственно.



**Рис. 4.** Динамика индексов запаса синего краба: а — зона Западно-Беринговоморская, б — Северо-Восточный район; в — залив Шелихова, г — Северо-Западный район, д — подзона Приморье, е — подзона Восточно-Сахалинская. 1 — скорректированная оценка запаса, тыс. т, с 90% доверительным интервалом; 2 — оценки запаса по данным учетных съемок, полученные методом прямого учета, тыс. т; 3 — оценки запаса, полученные модельными методами, тыс. т; 4 — уловы на усилие, экз. на коническую ловушку; 5—6 — целевой и граничный биологические ориентиры по биомассе (а, в д-е, тыс. т) или улову на усилие (б, г, экз./ловушку) соответственно.

2014 г. располагалось выше целевого биологического ориентира, подтверждая стабильный статус (Алексеев и др., 2017) данной единицы запаса.

*Залив Шелихова.* Обследованная площадь, хотя и менялась с той же тенденцией, что и усилие, темпы их изменения не всегда совпадали. Так в 2014/2013 гг. при незначительном уменьшении усилия обсле-

дованная площадь уменьшилась почти в 2 раза (рис. 2 г). Это дает основания предполагать, что и реальная площадь в этот период уменьшилась, поэтому при расчете в формулу (1) была введена поправка на площадь. Аналогичные поправки были введены для периода 2017/2016 гг. и 2019/2018 гг. После снижения в 2014 г. доступный запас стабилизировался (рис. 3 г).

Среднегодовые суточные уловы в 2013–2016 г. были стабильными на фоне постоянного снижения усилия. Резкое увеличение уловов в 2017 г. совпало с достижением усилия минимальных значений (рис. 3 д). После 2018 г. усилие несколько выросло, а уловы снизились. Численность пререкрутов, после максимумов, отмеченных в 2013–2015 гг., резко снизилась и в 2017 и 2019 гг. находилась в депрессивной зоне (рис. 3 е).

Скорректированные оценки запаса были пересчитаны по данным учетных съемок 2013–2015 и 2019 гг., и, в целом, они хорошо соответствовали оценкам, полученным методом прямого учета (рис. 4 в). Исключением была съемка 2017 г., выполненная ближе к окончанию промысла и показавшая заниженные результаты (Шагинян, 2019). Модельные оценки были, как правило, несколько выше скорректированных. Уменьшаясь с 2017 г. все оценки запаса приблизились к целевому биологическому ориентиру. При сохранении слабого пополнения нельзя исключить, что в последующие годы, тенденция к снижению запаса продолжится, и его значения окажутся в неблагоприятной зоне.

*Северо-Восточный район.* По сравнению с Заливом Шелихова информационное обеспечение здесь заметно хуже. Есть объединенные данные по двум парам учетных съемок, каждая из которых выполнялась в течение двух лет — на шельфе, в 2012 и 2018 гг., и в территориальных водах в 2013 и 2017 гг. Информация о динамике пререкрутов отсутствует. Модельные оценки не выполняли.

Чтобы проверить, обусловлены ли сильные колебания обследованной площади в 2015–2019 гг. малым числом квадратов, были проведены дополнительные вычисления. Во-первых, для увеличения числа сопоставляемых квадратов минимальное число ССД в учетном квадрате было уменьшено в 2 раза, с 10 до 5. Во-вторых, для квадратов, из которых было подано  $\geq 10$  ССД, рассчитывали среднее число ССД на квадрат, исходя из предположения, что при оди-

наковом годовом усилии концентрация судов в квадрате будет тем выше, чем меньше реальная плотность скопления. Анализ данных с учетом введения этих параметров позволил принять решение о введении поправки в формулу (1) для 2015/2014 гг., равную 6/7. Для остальных пар сравниваемых лет поправок не вводили.

Из-за малой величины усилия, доступный запас 2013 г. оценивали методом полной стандартизации, для остальных лет использовали формулу (1). В 2013–2018 гг. запас оставался стабильным, несмотря на заметный рост доли вылова (рис. 3 ж) с 2013 по 2016 гг. В 2016–2018 гг. возросший вылов успешно компенсировался растущей годовой продукцией. В 2019 г. из-за отсутствия компенсации доступный запас заметно снизился. Среднегодовые суточные уловы после заметного увеличения в 2014 г., постепенно уменьшались (рис. 3 з). Низкие темпы снижения уловов после 2016 г. могли быть обусловлены стабилизацией усилия.

Скорректированные оценки запаса практически полностью совпадали с оценками по материалам учетных съемок (рис. 4 б). Биологические ориентиры были рассчитаны (специалистами МагаданНИРО) по многолетним данным об уловах на коническую ловушку. Если допустить, что величина запаса пропорциональна улову на ловушку, то оценка по съемке 2018 г. при соответствии улову в 1,8 экз./ловушку, должна быть ниже целевого ориентира, в неблагоприятной зоне. Соответственно, там же окажется и большинство остальных оценок запаса.

Выделенный район расположен в двух подзонах (рис. 1 б). Если (так же как и при аналогичных исследованиях краба-стригуна опилю) допустить, что распределение запаса пропорционально усилию, то в 2016–2019 гг. его доля в подзоне Западно-Камчатская была относительно стабильной и варьировала в пределах 26–28%.

*Банка Ионы.* Промысел в районе вели в 2013–2015 гг., и в 2016–2019 гг. доступный запас определяли через коэффициенты, вычисленные методом полной стандар-

тизации. Поскольку в годы промысла здесь в один и тот же сезон работало одно судно (другие суда появлялись здесь в другие сезоны и работали не более суток), то прирост запаса определяли не по формуле (1), а из соотношения уловов. Соответственно значения индикаторов 2—3 были одинаковыми.

Доступный запас, слегка уменьшившись в 2014 г., затем стабилизировался (рис. 3 и). Предположению, что промысел не возобновлялся (рис. 3 к) вследствие полного истощения запаса противоречат данные учетной съемки, согласно которым запас в 2017 г. оставался на том же уровне, что и в 2012 г. (0,8 и 0,6 тыс. т соответственно). Поскольку интегрированная оценка годового прироста запаса выполнялась только по одному индикатору, то скорректированная оценка менялась так же, как и доступный запас.

*Северо-Западный район.* В территориальных водах этой части подзоны специализированный промысел синего краба не ведется, и он добывается только как прилов к камчатскому крабу. Соответственно, в отличие от других районов, величина доступного запаса отражает здесь не столько плотность промысловых скоплений, сколько фоновую плотность.

В подрайоне В, где промысел был прекращен с 2015 г., доступный запас оценивали через коэффициенты, вычисленные методом полной стандартизации. В подрайоне А такая оценка была выполнена только для 2019 г.

Доступный запас, снизившись к 2015 г. стабилизировался на уровне 250—350 т при доле вылова менее 10% (рис. 3 л). Дальнейшее уменьшение произошло к 2018 г., а к 2019 г. официальный вылов краба в районе был практически полностью прекращен (рис. 3 м).

Скорректированные оценки запаса, пересчитанные по материалам учетных съемок 2013—2015 гг. показали, что они мало отличаются от оценок, полученных методом прямого учета (рис. 4 г). Съемка 2018 г. при пересчете скорректированной оценки исполь-

зована не была, так ее результат был явно завышен. В пользу завышения указывает факт, что средние уловы в 2013—2015 и 2018 гг. были примерно одинаковыми, и крайне низкими — 0,2—0,3 экз./ловушку. Если в 2013—2015 гг. этим уловам соответствовали запасы в 3,5—4 тыс. т, то и в 2018 г. они должны были находиться, как минимум на этом уровне, а не быть в 2 раза выше (рис. 4 г). Если опираться на биологические ориентиры, построенные (специалистами ХабаровскНИРО и МагаданНИРО) по данным уловов на ловушку и считать, что в 2013 г. улов был пропорционален запасу, то следует признать, что с 2018 г. запас в этом подрайоне находится в депрессивной зоне.

*Подзона Восточно-Сахалинская.* Одной из особенностей района (согласно неопубликованным данным А.А. Михеева и А.К. Клитина), является наличие охранной зоны вокруг о. Тюлений (рис. 1 в: 1), занимающей около 15% акватории, населенной популяцией. Промышленный лов здесь запрещен, а мониторинг не проводился с 2002 г. Около половины участка занимает область нагула взрослых самцов. Между ней и участками, где ведется промысел (рис. 1 в: 2), происходят миграции, которые могут заметно влиять на величину годовой продукции, сравнимой в некоторые годы (в отличие от других регионов) с доступным запасом (рис. 3 н). Вылов в 2013—2018 гг. был практически постоянным. С 2018 г. он увеличивался, но его рост компенсировался высокой продукцией, позволившей запасу не только не уменьшиться, но и увеличиться.

В 2013—2014 гг. среднегодовые точные уловы и усилие оставались на одном уровне (рис. 3 о). В 2015 г. усилие снизилось, и уловы увеличились. В 2015—2017 гг. оба показателя снова стабилизировались. В 2018 г. уловы росли одновременно с усилием, отражая процесс увеличения запаса (рис. 3 н, о). В 2019 г. на фоне дальнейшего увеличения усилия уловы несколько снизились.

Динамика скорректированных оценок запаса, в целом, подтверждает тенден-



цию к его росту, выявленную по данным учетных съемок, уловов на усилие (коническую ловушку) и модельных оценок (рис. 4 е). Поскольку запас все еще не достиг целевого ориентира по биомассе, то он находится в статусе восстановления (Алексеев и др., 2017).

*Подзона Приморье.* Для северного района обследованная площадь, как правило, была пропорциональна усилию (рис. 2 е). Небольшие отклонения были отмечены для сезонов 2015/2014, 2018/2017 и 2019/2018 гг. Для этих сезонов в формулу (1) были внесены соответствующие поправки. Для южного (рис. 2 ж) и промежуточного районов поправок не вводили.

Из трех районов ежегодный промысел в 2013–2019 гг. велся только на севере. В южном районе выборки, достаточные для оценок запаса по формуле (1) были получены только для 2017–2019 гг., а в промежуточном районе — для 2018–2019 гг. Для остальных лет в этих районах запасы были оценены с помощью коэффициентов, вычисленных методом полной стандартизации.

Доступный запас, достигнув максимума в 2016 г. (рис. 3 п) начал устойчиво снижаться. Поскольку при увеличении вылова убыль запаса компенсировалась возрастающей продукцией, то причиной его уменьшения, вероятно, стали иные факторы, нежели (официально декларируемый) промысел. Одним из таких факторов могла стать низкая численность пререкрутов в 2012–2013 гг. (рис. 3 с). Вместе с тем, именно в 2016–2019 гг. среднегодовые уловы снижались по мере роста усилия (рис. 3 р).

Динамика скорректированной оценки, пересчитанная по съемкам 2013–2015 и 2017 гг. показала хорошее соответствие данным, полученным методом прямого учета (рис. 4 д). Модельные оценки, выполненные для 2018–2019 гг. также были близки к скорректированным значениям. В то же время скорректированные оценки подтвердили, что съемки 2018–2019 гг., выполненные не в полном объеме, показали явно заниженную оценку. Возможно, что поэтому ранее,

при определении ОДУ, авторы обоснования предпочли более адекватные результаты модельных расчетов. Оценивая статус запаса, можно утверждать, что, несмотря на снижение, он все еще остается стабильным, находясь в благополучной зоне, выше целевого ориентира по биомассе. Рост численности пререкрутов с 2016 г. (рис. 3 с) позволяет надеяться, что в ближайшее время тенденция к снижению изменится на противоположную.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Так же как и для крабов-стригунов (Буяновский, 2019 б; 2020), скорректированные оценки запасов синего краба, как правило, не сильно отличались от значений, полученных по материалам учетных съемок методом прямого учета (рис. 4). И точно так же, в ряде случаев они показывали, что некоторые учетные съемки, по тем или иным причинам (которые, как правило, указываются в соответствующих источниках) могут дать неадекватную оценку. Выгодным преимуществом скорректированных оценок является включение в расчеты данных промысловой статистики и научного мониторинга. Значения запаса, рассчитанные в годы отсутствия учетных съемок, представляются вполне адекватными, не выходящими за рамки ожидаемых значений. Все это еще раз подтверждает ранее сделанный вывод, что значения скорректированных оценок можно использовать в качестве входных данных для настройки моделей и дальнейшего прогнозирования.

Начиная с 2016 г. регулирование промысла приоритетных видов крабов и крабоидов основано на едином подходе, включающем ряд последовательных шагов, по итогам которых принимается решение об установлении ОДУ (Алексеев и др., 2017). Одним из таких шагов является определение статуса запаса, требующего анализа нескольких индикаторов. Если их цвета не совпадают, то запасу присваивается статус «неопределенный». Введение в расчеты единой скорректированной оценки, опирающейся на показатель, интегрирующий данные разных

индикаторов (табл. 3), позволяет более определенно установить статус запаса. Так, в наиболее крупных пространственных группировках — Западно-Беринговоморской зоне, Заливе Шелихова и Приморье — статус запаса пока остается стабильным, хотя для двух последних районов перспектива перехода в статус «снижающийся» прослеживается достаточно отчетливо (рис. 4 в, д). У Восточного Сахалина и в Северо-Восточном районе Охотского моря скорректированные оценки находятся в неблагоприятной зоне, но запас не снижается, и следовательно, его статус соответствует восстанавливаемому запасу. В Северо-Западной части Охотского моря запас, скорее всего (вопреки данным учетной съемки 2018 г.) находится в депрессивном статусе, о чем свидетельствуют как резкое уменьшение усилия (рис. 3 н), так и отсутствие промысла в 2019 г. На банке Ионы определение статуса пока затруднительно, так как не установлены биологические ориентиры по биомассе.

Еще одним шагом при принятии решения об установлении ОДУ приоритетных видов крабоидов и крабов являются предельные уровни его годового изменения. В настоящее время для растущего и восстанавливающегося запасов крабоидов предельный уровень увеличения ОДУ составляет 30%, а для стабильного и неопределенного — 16%, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Установленные по оценкам запаса, полученным методом прямого учета, эти величины среди экспертов иногда вызывают сомнения. Если величина запаса превышает целевой ориентир по биомассе, то ОДУ принято устанавливать как постоянную долю от этой величины (Бабаян, 2000), и его годовой прирост (без наличия предельных уровней) будет равен годовому приросту запаса. В соответствии с критериями определения статуса среди запасов, чьи оценки расположены выше целевого ориентира, выделяют растущие и стабильные (Алексеев и др., 2017). Для синего краба к растущим следует отнести запасы в Западно-Беринговоморской зоне в 2015/2014, 2016/2015

и 2017/2016 гг. и подзоне Приморье в 2015/2014 и 2016/2015 гг. (рис. 4 а, д). Во все остальные периоды статус указанных запасов (кроме периода 2014/2013 гг. в Беринговом море) и запаса в заливе Шелихова, соответствовал стабильному. Средний годовой прирост ( $\pm 90\%$  CL) скорректированной оценки для растущего запаса составил  $1,25 \pm 0,13$  и, следовательно, существующая величина, ограничивающая увеличение ОДУ (и равная 1,30), вполне укладывается в данный интервал. То же относится и к стабильному запасу, для которого среднегодовое увеличение составило  $1,15 \pm 0,10$ , уменьшение  $0,81 \pm 0,05$ , а существующие предельные уровни изменения ОДУ составляют соответственно 1,16 и 0,84. Для восстанавливающихся запасов (Северо-Восточный район Охотского моря, Восточно-Сахалинская подзона и Западно-Беринговоморская зона в период 2014/2013 гг.) средний уровень годового прироста составил  $1,32 \pm 0,26$ , и предельный уровень увеличения ОДУ (1,30) также оказался внутри его доверительных границ. Все эти данные указывают, что пока нет оснований менять существующие предельные уровни годового изменения ОДУ, но в дальнейшем, по мере увеличения объемов выборки за счет получения новых сведений и привлечения информации по родственному виду — камчатскому крабу, описанный выше подход может быть использован для установления новых уровней.

Полученные результаты, вслед за материалами по крабу-стригунам Бэрда и опилю показывают, что скорректированная оценка, основанная на данных репрезентативных учетных съемок, промысловой статистики и научного мониторинга, тем точнее, чем чаще эти съемки выполняются. И хотя предлагаемый алгоритм корректировки позволяет рассчитать запас в годы отсутствия съемок, накопление таких лет неизбежно приведет к искажению информации.

Данные скорректированных оценок показывают, что пока наиболее крупные запасы находятся в стабильном состоянии,

даже несмотря на тенденции к снижению. Ежегодный прирост скорректированного запаса может быть основой для установления предельного уровня изменения ОДУ, требуемого новыми правилами регулирования промысла крабов. Пока, вследствие небольшого объема выборки, пересмотр существующих уровней нецелесообразен, но мере накопления статистики, предложенный подход может быть использован для их пересмотра.

### Благодарности

Автор выражает глубокую признательность ведущему научному сотруднику Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» к.б.н. С.В. Баканеву за критические замечания, высказанные в рецензии на рукопись статьи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Д.О., Буюновский 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. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.
- Буюновский А.И. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. 222 с.
- Буюновский А.И. К использованию моделей истощения для оценки промысловых запасов крабов // *Вопр. рыболовства*. 2019 а. Т. 20. № 1. С. 107–122.
- Буюновский А.И. Использование промысловой статистики для оценки динамики запаса краба-стригуна Бэрда // Там же. 2019 б. Т. 20. № 4. С. 497–512.
- Буюновский А.И. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригуна опилио в морях России // Там же. 2020. Т. 21, № 1. С. 106–124.
- Буюновский А.И., Алексеев Д.О. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // Там же. 2017. Т. 18. № 3. С. 268–282.
- Ильин О.И., Иванов П.Ю. Об одном модельном подходе к оценке состояния запасов камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* западнокамчатского шельфа // *Изв. ТИНРО*. 2015. Т. 182. С. 38–47.
- Мельник А.М., Абаев А.Д., Васильев А.Г. и др. Крабы и крабоиды северной части Охотского моря. Магадан: Изд-во «Типография», 2014. 198 с.
- Михеев А.А., Букин С.Д., Первеева Е.Р. и др. К проблеме учета промысловых беспозвоночных в популяциях с низким уровнем численности // *Тр. ВНИРО*. 2007. Т. 147. С. 27–38.
- Слизкин А.Г., Сафронов С.Г. Промысловые крабы прикамчатских вод: Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Северная Пацифика», 2000. 142 с.
- Федотов П.А. Распределение, состояние запасов и некоторые биологические характеристики синего краба *Paralithodes platypus* в северо-западной части Берингова моря // *Водные биологические ресурсы России: мониторинг, состояние, управление*. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. С. 13–19.
- Черниенко И.А. Моделирование динамики запаса колючего краба *Paralithodes brevipes* южных Курильских островов конечно-разностной моделью с запаздыванием // Там же. 2016. Т. 185. С. 1–10.
- 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.
- Шагинян Э.Р. Промысел синего краба в Западно-Камчатской подзоне Охотского моря в 2013–2018 гг. // Там же. 2019. Вып. 55. С. 92–106.

**THE BLUE KING CRAB COMMERCIAL STOCKS DYNAMICS  
IN THE RUSSIAN SEAS WITH ACCOUNT ON FISHERIES STATISTICS**

© 2020 г. А.И. Buyanovsky

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

Dynamics of the blue king crab commercial stocks from different Russian seas is given for the period 2013–2018. Each stock assessment is based on the data of research surveys which corrected by the data of fisheries statistics (corrected stock assessment). Generally the difference between the data of representative research surveys and corrected stock assessments are not significant. Comparison of (corrected) stocks dynamics with reference points allowed clarifying the status of each stock unit. By 2020 the largest stocks remained in good condition despite the trend to decline.

*Keywords:* fisheries, catch per effort (CPUE), stock assessment, blue king crab, general linear models, reference points, traffic-light method, ТАС