

УДК 595.384:639.28

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-5-21

## Индекс относительной численности как оперативная оценка состояния запаса синего краба в заливе Шелихова Охотского моря

С.И. Моисеев<sup>1</sup>,  
Д.О. Сологуб<sup>1</sup>,  
Э.Р. Шагинян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

<sup>2</sup> Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), г. Петропавловск-Камчатский

E-mail: moiseev@vniro.ru

Представлен материал весенних учётных съёмок синего краба *Paralithodes platypus*, проводившихся в заливе Шелихова Охотского моря с 2007 по 2019 гг. Для оперативной оценки, характеризующей состояние запаса эксплуатируемой популяции, предложено применять индекс относительной численности ( $I\%N$ ). Индекс  $I\%N$  определяется как отношение численности отдельной функциональной группы краба к максимальной численности для этой группы краба в исследуемом периоде, выраженное в процентах. По сходному алгоритму были определены индекс относительной плотности распределения крабов ( $I\%P$ ) и индекс относительного среднесуточного вылова промысловых судов за первое полугодие ( $I\%M$ ). При сравнении индексов относительности  $I\%N$ ,  $I\%P$ ,  $I\%M$  наиболее показательным был индекс относительной численности  $I\%N$ . Для оценки состояния запаса изучаемой функциональной группы крабов в значениях индекса  $I\%N$  предложено выделить 4 квартиля (интервал 25 единиц): 1-й квартиль ( $Q_1$ )  $I\%N > 75$  состояние запаса хорошее; 2-й квартиль ( $Q_2$ )  $I\%N = 51 - 75$  состояние запаса удовлетворительное и/или относительно стабильное; 3-й квартиль ( $Q_3$ )  $I\%N = 26 - 50$  состояние запаса неопределённое; 4-й квартиль ( $Q_4$ )  $I\%N \leq 25$  состояние запаса неудовлетворительное и/или депрессивное. Граничными значениями между квартилями  $Q_1 - Q_2$ ,  $Q_2 - Q_3$  и  $Q_3 - Q_4$  являются значения  $I\%N$  равные 75, 50 и 25, соответственно. Динамика индекса  $I\%N$  в изучаемом временном периоде отражает реальный процесс, происходящий в промысловой единице запаса.

**Ключевые слова:** синий краб *Paralithodes platypus*, численность, запас, распределение, индекс относительной численности.

### ВВЕДЕНИЕ

В морях Российской Федерации промышленный лов крабов осуществляется в рамках единой стратегии регулирования промысла [Алексеев и др., 2017]. Для оценки состояния запаса водных биологических ресурсов (ВБР) и их прогнозирования применяется методология, в основе которой лежит предосторожный подход [Бабаян, 2000]. Этот метод хорошо реализуется для оценки запаса промысловых видов рыб и других животных, имеющих линейный рост тела и структуры, позволяющие определять возраст этих животных. В отличие от рыб ракообразные, включая виды промысловых крабов, в процессе онтогенеза и индивидуального дискретного роста имеют ряд особенностей, создающих осложнения при оценке численности и ее прогнозирования для эксплуатируемых популяций крабов. Для преодоления проблем, связанных с неопределённостью в построении оценок запаса, в отечественной карцинологии используются современные математические методы расчётов, которые позволяют учитывать дискретный рост и возраст

крабов [Михеев, 2003; 2004; Михеев и др., 2012; Баканёв, 2008; 2016; Буяновский, 2012; 2019 а, б; 2020 а б; Буяновский, Алексеев, 2017; Ильин, Иванов, 2015; 2018; Черниенко, 2016; Черниенко, Черниенко, 2019]. Такие работы по оценке запаса крабов и его прогнозирования обычно выполняются *in silico*. Но при выполнении натуральных рыбохозяйственных исследований, например, при работе в море на судах малотоннажного и москитного флота, а также в полевых условиях на берегу, у научного сотрудника не всегда имеется соответствующая математическая специализация и организационные возможности для работы с офисной техникой. Одним из вариантов оперативной оценки мгновенной численности и биомассы запаса являются результаты прямого учёта крабов, которые могут быть получены при проведении ловушечных или траловых съёмов, либо при мониторинге промысла крабов.

Цель работы – на примере исследований синего краба *Paralithodes platypus* (Brandt, 1850), обитающего в районе залива Шелихова, показать, как в экспеди-

ционных условиях можно оперативно оценить состояние исследуемой единицы запаса с помощью несложного расчета индекса относительной численности ( $I\%N$ ) по данным, полученным эмпирическим путём во время учётных съёмов и мониторинга промысла крабов.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы материалы учётных ловушечных съёмов по синему крабу, которые были выполнены в 2007–2019 гг. в районе залива Шелихова. Полученные данные о численности различных функциональных групп в популяции этого вида, были собраны за определённый исторический период наблюдений, которые отражают формирование численности к текущему времени и являются динамическим процессом в рассматриваемом историческом ряду. С помощью графической визуализации численности синего краба за период наблюдений даётся характеристика состояния запаса. Для такой оценки динамики запаса в эксплуатируемых популяциях крабов предлагается использовать индекс относительной численности ( $I\%N$ ). Этот индекс  $I\%N$  отображает процентное соотношение численности отдельной размерно-половой группы краба к максимальной численности для этой функциональной группы краба, наблюдавшейся в исследуемом периоде.

Индекс относительной численности  $I\%N$  определяется по формуле:

$$I\%N = (a / N_{max}) \times 100\%, \quad (1)$$

где  $a$  – численность определяемой группы краба, полученная во время учётной съёмки, млн экз.;  $N_{max}$  – максимальная определённая и округлённая или действительная численность этой группы крабов, наблюдавшаяся по результатам одной из съёмов, проводившейся в изучаемый период.

Применение индекса  $I\%N$  является индикаторным подходом к оценке состояния численности как для исследования отдельной размерно-возрастной функциональной группы крабов, так и в целом для самцов и/или самок. Для изучения вариабельности индекса относительной численности был выбран запас северной части охотоморской популяции синего краба, которая обитает в районе залива Шелихова. В этом районе проходит интенсивный промышленный лов *P. platypus*, а с 2007 по 2019 гг. сравнительно регулярно по сходной сетке станций в весенний период выполнялись учётные ловушечные съёмки. Исходя из результатов съёмов КамчатНИРО и ВНИРО проводили оценку численности синего краба с помощью программы «ГИС КартМастер», в основе которой лежит

метод сплайн-аппроксимации [Бизиков и др., 2006; 2013; Шагинян, 2014; 2019; Сологуб, Шагинян, 2015; Моисеев, Моисеева, 2019].

При расчётах оценки численности *P. platypus* обычно выделяют пять размерно-половых групп: 1) промысловые самцы с шириной карапакса от 130 мм; 2) пререкруты I-го порядка (120–129 мм); 3) пререкруты II-го порядка (110–119 мм); 4) ранняя молодь самцов (<110 мм); 5) самки (представлены как одна функциональная группа). Ранее было показано, что у взрослых крабоидов после линьки линейный прирост по ширине карапакса (ШК) может составлять до 1,6–2,0 см [Клитин, 1996; Слизкин, Долженков, 1997; Лысенко, Гайдаев, 2005; Матишов, 2008]. С учётом этого обстоятельства, при разделении самцов крабов с ШК 110–129 мм на две группы (пререкруты I и II) может привноситься неопределённость в расчётной численности. Поэтому самцов пререкрутов I-го и II-го порядков мы объединили в одну функциональную группу (110–129 мм), сократив общее число групп до четырёх.

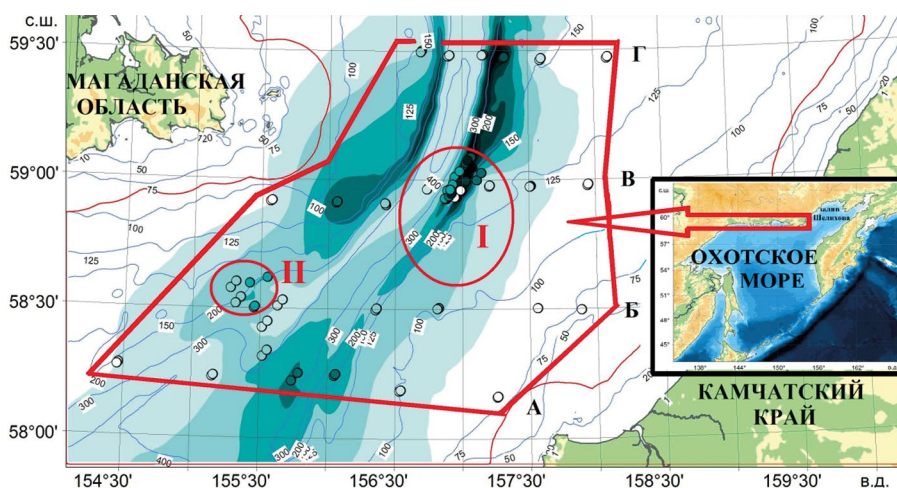
Для изучаемого периода научно-исследовательских работ (НИР) с 2007 по 2019 гг. была сформирована база данных с оценкой численности четырёх размерно-половых групп краба *P. platypus* (табл. 1). При расчёте численности по ловушечным уловам площадь облова одной ловушки принимали равной 8500 м<sup>2</sup> [Шагинян, 2014]. Во время выполнения весенних съёмов в 2007–2012 гг. площадь НИР значительно варьировала, но в последние годы площади съёмов стали более стабильными с неизменным обследованием центральной части акватории (рис. 1), расположенной между Западной Камчаткой (п-ов Утхолокский) и Магаданской областью с мысом Толстой (п-ов Пягина). Весной, в зависимости от ледовой обстановки, учётные станции изменяются в северном или в южном направлении.

Многолетние наблюдения во время выполнения учётных съёмов и мониторинга промысла показали, что в первом полугодии промысловые концентрации синего краба неизменно расположены в районе склонов глубоководной части залива Шелихова (Шелиховский каньон) [Лысенко, 2001; Шагинян, 2014; 2019; Сологуб, Шагинян, 2015]. Так были распределены крабы и в мае 2019 г. [Моисеев, Моисеева, 2019] (рис. 1). Поэтому имеющиеся данные съёмов могут быть дополнены показателями среднесуточного вылова судов за I полугодие (2007–2020 гг.), которые хорошо отражают динамику промысловой части синего краба в заливе Шелихова (табл. 1). К середине июня самцы промыслового размера начинают интенсивно мигрировать к берегу, а промысловые скопления распределя-

**Таблица 1.** Оценка численности *P. platypus* по данным учётных съёмок в 2007–2019 гг. (млн экз.) и средний суточный вылов промысловых судов за первое полугодие (т)

Год	Площадь учётной съёмки, км <sup>2</sup>	Самцы, млн экз.			Самки, млн экз.	Всего, млн экз.	Средне-суточный вылов за 1-е полугодие, т
		Промысловые (≥130 мм)	Пререкруты I+II (110–129 мм)	Молодь (<110 мм)			
2007	12533	7,506	8,172	3,064	17,026	35,768	0,299
2008	16642	6,850	9,312	4,729	*	20,891	1,865
2009	10170	5,432	6,396	1,905	*	13,733	1,600
2010	9305	6,295	4,854	1,726	*	12,875	3,510
2011 <sup>1</sup>	–	–	–	–	–	–	3,750
2012	4870	7,312	6,764	5,662	0,642	20,380	4,810
2013	13245	13,330	9,860**	4,140	25,190**	52,520**	6,183
2014	15656	12,506	9,190	4,128	24,989	50,813	7,556
2015	15605	13,381**	8,644	2,955	9,315	34,295	7,585
2016 <sup>1</sup>	–	–	–	–	–	–	7,219
2017	17881	9,510	2,881	1,420	12,699	26,510	9,163
2018 <sup>1</sup>	–	–	–	–	–	–	7,374
2019	17599	11,519	2,567	0,530	8,596	23,212	6,595
2020 <sup>2</sup>	20700*	7,363*	4,163*	2,162*	5,929*	19,617*	7,053

Примечания: \* – данные не репрезентативны; \*\* – максимальная численность за период исследования; <sup>1</sup> – В этот год в весенний период учетной съёмки и/или мониторинга промысла не было; <sup>2</sup> – Данные учетной съёмки за первую декаду июля.



**Рис. 1.** Схема расположения учётных станций и распределения промысловых особей синего краба в заливе Шелихова в мае 2019 г.: I – основной участок работы промысловых судов в апреле-мае и II – второстепенный участок работы промысловых судов.

Обозначения: А-Г – разрезы и точки постановок учётных станций

ются неравномерно и мозаично на средних и малых глубинах шельфа на обширной акватории залива Шелихова. Поэтому, в этот период оба эти показателя (учётные съёмки и показатели вылова судов) становятся менее репрезентативными.

За двенадцатилетний период наблюдений для каждой из четырёх сформированных функциональных групп синего краба были определены года с макси-

мальным значением численности для этой группы. Далее, предположив, что из-за особенностей облова самплера во время сбора эмпирических данных мог произойти недоучёт крабов, то для каждой функциональной группы крабов имеющееся максимальное значение численности мы увеличили на 10%. В период 2007–2019 гг. максимальная численность синего краба по функциональным группам составляла:

1) промысловые самцы с шириной карапакса (ШК)  $\geq 130$  мм – 13,381 млн экз. (произвели увеличение численности на 10% округлив до первого десятичного знака – 14,7 млн экз., приняв это максимально возможное значение за 100%);

2) пререкруты самцов I и II-го порядков (ШК 110–129 мм) – 9,86 млн экз. (значение увеличили на 10% и округлили до 10,9 млн экз.– 100%);

3) ранняя молодь самцов (ШК  $< 110$  мм) – 5,662 млн экз. (величину повысили на 10% и округлили до 6,2 млн экз.– 100%);

4) самки различной половозрелости – 25,19 млн экз. (численность увеличили на 10% и округлили до 27,7 млн экз.– 100%).

В дальнейшем, для каждой отдельной группы крабов строили графическую динамику индекса относительной численности по отношению к округлённым значениям максимальной численности, полученной по формуле (1). При построении графиков в годы, когда отсутствовали наблюдения в весенний период (2011, 2016 и 2018 гг.), приводили среднюю оценку по двум смежным годам. Так для 2011 г. принимали среднее значение от 2010 и 2012 гг., для 2016 г. принимали среднее значение от 2015 и 2017 гг., а для 2018 г. среднее от 2017 и 2019 гг.

Ещё одним из прямых способов оценки состояния запаса крабов может быть средняя плотность (экз./км<sup>2</sup>) распределения крабов в районе научных исследований [Моисеев, 2009]. Поэтому, за период 2007–2019 гг. для каждой функциональной группы синего краба выделили годы с максимальными величинами плотности распределения крабов. Затем, для каждой функциональной группы крабов произвели увеличение этих значений на 10% (из-за возможного недоучёта крабов самплером во время съёмки), округлили до целого числа и приняли эти значения за 100%. Наибольшая плотность распределения за учётную съёмку среди самцов наблюдалась в 2012 г. В этот год максимально возможная плотность с учётом 10% повышения составила: у промысловых самцов 1652 экз./км<sup>2</sup>; у самцов пререкрутов с ШК 110–129 мм – 1528 экз./км<sup>2</sup>; у ранней молодежи самцов с ШК  $\leq 109$  мм – 1279 экз./км<sup>2</sup>. Плотность распределения самок была наибольшей в 2013 г., а максимально возможная плотность с 10%-ным повышением составила – 2092 экз./км<sup>2</sup>. Значения плотности крабов можно представить в процентах, используя принцип формулы (1) и сходный алгоритм расчёта для этого дополнительного индекса. Эти величины можно назвать *индексом относительной плотности распределения (I%P)*.

Третьим способом оценки состояния запаса промысловых крабов могут быть показатели сред-

несуточного вылова краболовных судов. Данные по среднесуточному вылову промысловых самцов синего краба в период 2007–2019 гг. и за 2020 г. были взяты из ежедневных суточных судовых донесений (ССД) отраслевой системы мониторинга (ОСМ) Росрыболовства. Для каждого года находили среднесуточный вылов судов за период с 01 января до 15 июня (см. табл. 1). Выбор данного периода первого полугодия вызван биологическими особенностями, характерными для синего краба, когда промысловые особи распределены относительно компактно в районе глубоководной части Шелиховского каньона. Следует отметить, что в районе залива Шелихова, за последние 7–8 лет в первом полугодии осваивается до 90% и более от объёмов ОДУ синего краба, выделяемых для Западно-Камчатской подзоны. В период с 2007 по 2019–2020 гг. максимальное значение среднесуточного вылова синего краба отмечалось в 2017 г. – 9,163 т в сутки, это значение мы увеличили на 10% с округлением до первого десятичного знака. В связи с этим, за первое полугодие максимально возможный вылов синего краба может составлять 10,1 т/сут., это значение нами принято за 100%. В последующем, мы установили отношение усреднённых уловов синего краба к максимально возможному среднесуточному вылову (10,1 т/сут.) в процентах. Алгоритм расчёта был аналогичен расчёту индексов *I%N* и *I%P*. Полученные значения для вылова в первом полугодии можно определить как *индекс относительного среднесуточного вылова (I%M)*, этот индикатор характеризует плотность и/или обилие промыслового скопления крабов в районе работы судов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Материалы, полученные по результатам учётных съёмок, и данные суточных донесений от промысловых судов позволили определить три индикатора относительности – индекс относительной численности (*I%N*), индекс относительной плотности распределения (*I%P*) и индекс относительного среднесуточного вылова (*I%M*) судов за первое полугодие.

### *Индекс относительной численности (I%N)*

Данные по оценке численности для каждой из четырёх функциональных групп синего краба за период 2007–2019 гг. (см. табл. 1) мы перевели из количественных значений в проценты по отношению к максимально возможной округлённой величине, отмеченной для каждой группы крабов (табл. 2). Динамику индекса относительной численности *I%N* синего краба за 12-летний период представили в графическом виде для каждой функциональной группы (рис. 2).

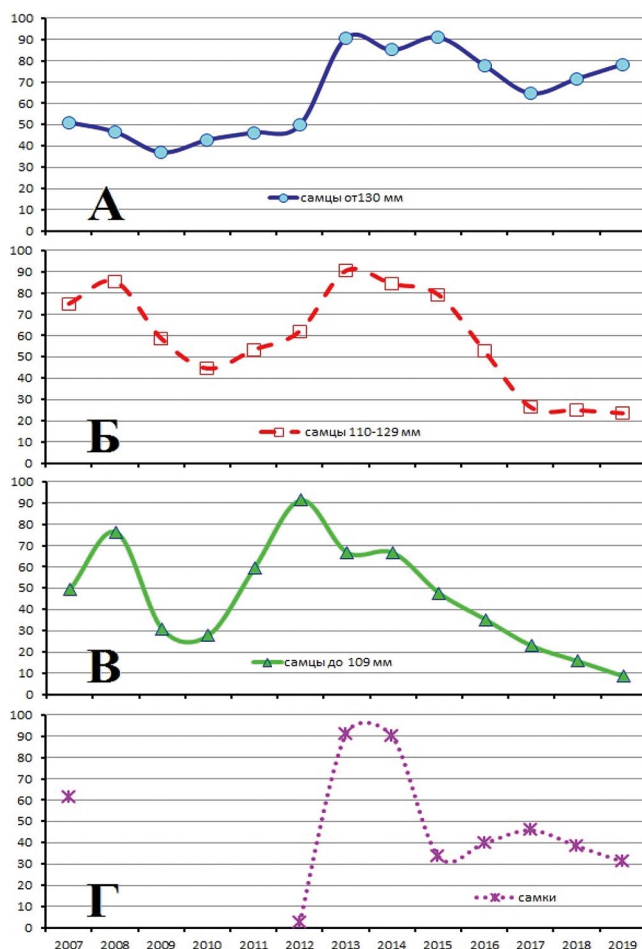
**Таблица 2.** Максимально возможная численность различных функциональных групп у *P. platypus* в период 2007–2019 гг. (млн экз.)

Самцы			Самки
ШК ≥130 мм	ШК 110–129 мм	ШК <110 мм	
14,7	10,9	6,2	27,7

Динамика индекса  $I\%N$  за исследуемый период 2007–2019 гг. показывает, что среди самцов наиболее переменными оказались младшие функциональные группы с ШК <110 мм и с ШК 110–129 мм. В начале рассматриваемого периода в 2009–2010 гг. ранняя молодь самцов с ШК <110 мм имела низкое значение  $I\%N$  – около 30 единиц от максимально возможной величины  $I\%N$ , наблюдавшейся в 2012 г. (рис. 2 В, табл. 2). После 2012 г. у этой группы наблюдается постоянное снижение индекса  $I\%N$ , которое в 2019 г. составило уже менее 10 единиц. У пререкрутов с ШК 110–129 мм наименьшего значения индекс  $I\%N$  достигал в 2010 г. (рис. 2 Б), составляя около 45 единиц от максимально возможного значения  $I\%N$  в 2013 г. После 2015 г. величина индекса численности  $I\%N$  пререкрутов I и II снизилась до 25 и менее единиц. Среди самцов промыслового размера колебание значений индекса  $I\%N$  обычно не превышало 15 единиц (рис. 2 А). Исключением для промысловых самцов стал 2013 г., когда по сравнению с периодом 2007–2012 гг. произошло увеличение значения  $I\%N$  почти на 40 единиц. У самок синего краба за исследуемый период отмечено два существенных скачка значений индекса  $I\%N$  (рис. 2 Г) – резкий рост значения был в 2013 г. по сравнению с 2012 г. и падение значения  $I\%N$  в 2015 г. по сравнению с 2014 г.

#### Индекс относительной плотности распределения ( $I\%P$ )

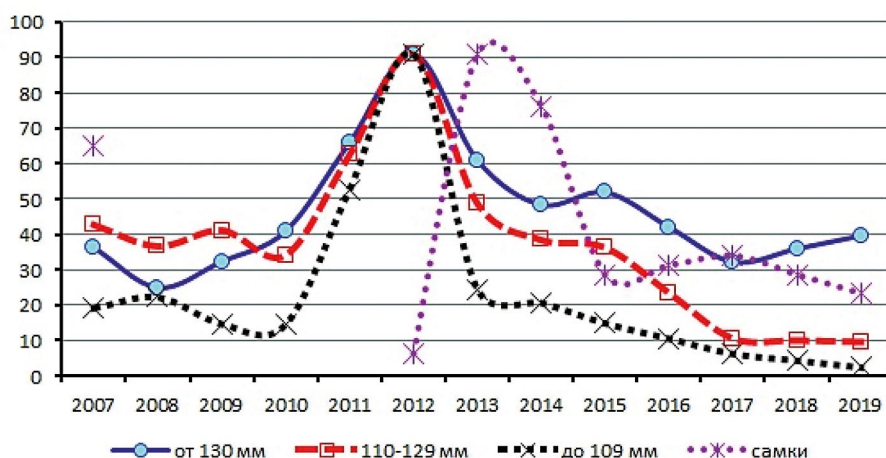
В районе выполнения учётной съёмки средняя плотность (экз./км<sup>2</sup>) распределения крабов является оценочной характеристикой, отражающей состояние запаса крабов в районе НИР. Так на примере камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) ранее была показана ретроспективная динамика распределения средней плотности промысловых самцов на шельфе Западной Камчатки в начале 60-х гг. прошлого века и в середине прошлого десятилетия (до 2008 г.) [Моисеев, 2009]. Исходя из возможной значимости этого показателя были определены средние значения плотности крабов для каждой функциональной группы синего краба, полученные во время учётных съёмок (см. табл. 1). Проведя соответствующие расчёты по определению значений  $I\%P$ , сходные



**Рис. 2.** Динамика индекса численности  $I\%N$  среди различных групп синего краба в 2007–2019 гг. (ось ординат  $I\%N$  – индекс относительной численности в %)

с определением  $I\%N$  по формуле (1), был построен график (рис. 3). Визуализация индекса относительной плотности показывает, что наиболее высокие значения плотности у различных функциональных групп самцов были в 2012 г., а у самок в 2013 и 2014 гг.

Можно предположить, что в 2012 г. была выполнена наиболее удачная учётная съёмка в центральной части Шелиховского каньона. В этот год съёмка проводилась на площади, которая была в 3,5 раза меньше, чем в остальные годы. При этом индексы относительной численности  $I\%N$  различных групп самцов были высокими – в пределах 50–80 единиц. Влияние малой площади обследования в 2012 г. проявилось в унимодальности индекса относительной плотности распределения  $I\%P$ . Высокие значения индекса  $I\%P$  в 2012 г. были обусловлены тем, что скопления различных групп самцов синего краба располагались в районе глубоководной части залива на малой площади. Данное обстоятельство повлияло на высокие показатели плотности. Что касается самок – их малая плотность распределения и численность с одной сто-



**Рис. 3.** Динамика индекса относительной плотности распределения  $I\%P$  среди различных групп синего краба в 2007–2019 гг. Ось ординат  $I\%P$  – индекс относительной плотности распределения крабов в %

роны были определены невысокой частотой встречаемости самок и малой площадью исследований в 2012 г., а с другой – возможным распределением самок на меньших глубинах за пределами района учётной съёмки.

#### *Индекс относительного среднесуточного вылова ( $I\%M$ ) промысловых судов*

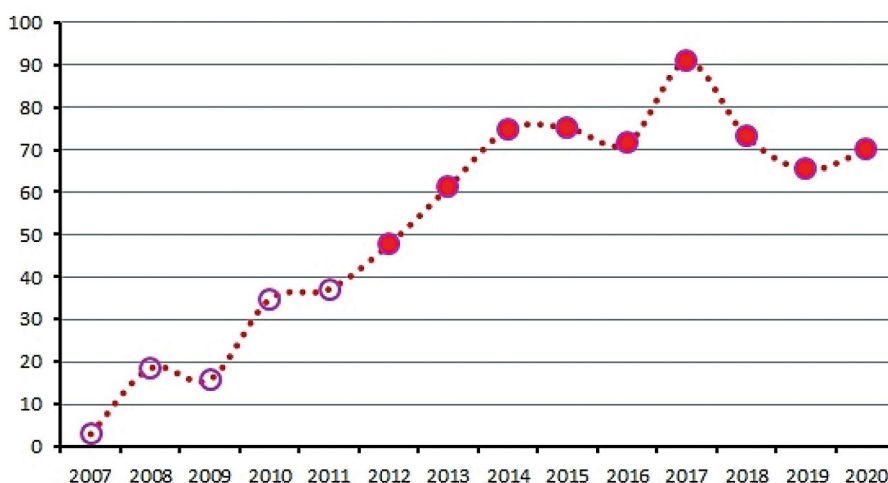
В период 2007–2019 гг. среднесуточный вылов за первое полугодие варьировал от 0,3 т/сут. в 2007 до 6,3 т в 2013 г., а с 2014 г. вылов установился на уровне около 7 т/сут., с максимумом 9,2 т/сут. в 2017 г. (см. табл. 1). Далее среднесуточные выловы были приведены в единый масштаб (%) с графическим построением (рис. 4). Наиболее низкие значения  $I\%M$  наблюдались в 2007–2009 гг. 3–18,5 единиц (%), от максимально возможного среднесуточного вылова, равного

10,1 т/сут. К 2012 г. были введены нормативы суточного вылова краболовными судами и ограничение района, разрешённого для ведения промысла синего краба в Западно-Камчатской подзоне [Шагинян, 2014; 2019], как следствие – значения индекса  $I\%M$  выросли в 1,5–2 раза.

## ОБСУЖДЕНИЕ

#### *Индекс относительной численности ( $I\%N$ )*

Для выявления контрастности процесса, происходящего в динамике запаса самцов синего краба, можно всех непромысловых самцов с ШК  $\leq 129$  мм объединить в одну группу и сравнить их динамику индекса относительной численности за исследуемый период с динамикой индекса  $I\%N$  промысловых самцов. Начиная с 2015 г. высокий уровень промыслового запаса



**Рис. 4.** Динамика индекса относительного среднесуточного вылова ( $I\%M$ ) синего краба в 2007–2020 гг. Ось ординат  $I\%M$  – индекс среднесуточного вылова судов за период с 1 января по 15 июня в % ( $I\%M$  с 2007 по 2011 гг. носит некорректный характер, вызванный организационно-правовыми неопределённостями [Шагинян, 2014])

в популяции синего краба базируется на урожайных поколениях самцов, наблюдавшихся в предшествующие годы. В последние годы численность промысловых самцов *P. platypus* была подвержена вариабельности с трендом на незначительное снижение индекса  $I\%N$ . Низкая величина индекса относительной численности среди молодежи самцов с ШК  $\leq 129$  мм в последние годы была вызвана возможным недоучётом этой группы крабов во время выполнения ловушечных съёмок. По-видимому, после 2013–2015 гг. в период с середины апреля по май, низкая численность молодежи самцов могла быть связана с высокой миграционной активностью этих групп, проходившей в более ранний период весеннего сезона [Шагинян, 2014; Шагинян, Сологуб, 2015]. Возможно, что с фактором ранних сезонных миграций связана и вариабельность численности самок синего краба отмечавшаяся весной с 2012 по 2015 гг. (см. табл. 1 и рис. 2Г). Ранее Л.Г. Виноградов [2013] отмечал, что самки и молодежь камчатского краба при весенних миграциях в прибрежную зону могут даже преодолевать придонные линзы водных масс с отрицательными температурами. По-видимому, сходный сценарий ранних весенних миграций в сторону мелководий может быть характерен и для молодежи самцов и самок синего краба (предположительно конец марта и весь апрель). Следует отметить, что с марта и до первых чисел мая практически на всей площади залива Шелихова расположенной севернее  $58^{\circ}20'$  с. ш. могут стоять плотные ледовые поля, не позволяющие совершать промысловые операции и выполнять сбор биологической и статистической информации. Поэтому гидрометеорологические условия, подходящие для выполнения учётной съёмки в центральной части залива, появляются не ранее 3-й декады апреля или начала мая. К этому времени, непромысловые самцы и самки иногда могут уже покинуть район учётной съёмки. Например, в 2019 г. весной в южной части залива Шелихова (южнее  $58^{\circ}20'$  с. ш.) в придонном слое воды наблюдалась положительная температура до  $0,3-1,6^{\circ}\text{C}$  [Моисеев, Моисеева, 2019], при этом ловушечная съёмка показала низкую численность непромысловых самцов и самок. По нашему мнению, именно положительные температуры придонной воды могли иметь прямое влияние на совершение ранних весенних миграций (март-апрель) указанных групп крабов в сторону прибрежной зоны ещё до начала учётной съёмки (май 2019 г.).

В отличие от молодежи самцов и самок крупноразмерные особи самцов остаются на склонах каньона в центральной и северной частях залива Шелихова до конца мая (см. рис. 1) или даже до второй половины

июня. В мае-июне средний показатель промыслового усилия для промысловых особей варьирует от 10–14 до 7–8 экз./лов., но на особо плотных скоплениях крабов, расположенных на восточном склоне, уловы промысловых самцов на небольших площадях могут доходить до 20 и более экз./лов. [Моисеев, Моисеева, 2019].

Тем не менее, можно предположить, что зафиксированное в последние годы снижение индекса относительной численности  $I\%N$  синего краба у младших функциональных групп самцов действительно отражает низкую численность этих групп по сравнению с 2011–2015 гг. (см. рис. 2). Но, с другой стороны, исследования, проведённые в первой половине июля 2020 г., показали начало восстановления численности среди пререкрутов и ранней молодежи синего краба. По сравнению с 2019 г. эти группы крабов увеличили свою численность почти в 2–3 раза (Артеменков Д.В., устное сообщение о результатах рейса 2020 г., подготовка материалов в печать). Таким образом, по нашему мнению, в весенних съёмках в последние годы происходил недоучёт пререкрутов синего краба и самок. Вследствие этого, в ближайшие 2 года можно будет ожидать увеличения численности как среди непромысловых особей этого вида, так и промысловых самцов.

#### *Индекс относительной плотности распределения ( $I\%P$ )*

При анализе сравнительной динамики индекса  $I\%P$  (см. рис. 3), высокие значения 2012 г. возможно были обусловлены миграционными и гидрологическими особенностями этого года. В этот год съёмка проходила только в районе склонов глубоководной части залива Шелихова, где одновременно образовались скопления различных функциональных групп самцов синего краба на ограниченной площади — всего 4,9 тыс. км<sup>2</sup>. Площадь учёта в 2012 г. была в 3–3,5 раза меньше, чем площадь съёмок в остальные годы, когда были охвачены все диапазоны глубин как с высокой, так и с низкой плотностью крабов. По-видимому, если бы в 2012 г. обследование проходило на большей площади залива Шелихова, то индекс  $I\%P$  был бы близок к значениям этого индекса в другие годы. Данное предположение косвенно может быть подтверждено низкой плотностью распределения самок в 2012 г., когда самки, по-видимому, находились на меньших глубинах за пределами района учётной съёмки. В 2013–2014 гг. исследования проводились на большей площади, и индекс  $I\%P$  для самок был наибольшим за период наблюдения.

### *Индекс относительного среднесуточного вылова ( $I\%M$ )*

Данный индекс является наиболее доступным для анализа формирующейся промысловой ситуации, в тех случаях, когда он не обременён различными экономическими и организационно-правовыми факторами, как это отмечалось до 2013 г. [Шагинян, 2014]. Поэтому целесообразно индекс относительного среднесуточного вылова ( $I\%M$ ) рассматривать в комплексе с индексами  $I\%N$  и  $I\%P$ , построенными для старшей функциональной группы самцов синего краба, состоящей из промысловых особей с ШК  $\geq 130$  мм.

### *Сравнительный анализ индексов $I\%N$ , $I\%P$ и $I\%M$*

Применяемый нами индекс относительной численности ( $I\%N$ ) имеет сходство с методом «светофора», использованным А.И. Буяновским [2020 а, б] для оценки запаса крабов-стригунов рода *Chionoecetes* и синего краба. Автором было показано, что чем чаще выполняются учётные съёмки, тем более точные значения в оценке запаса даёт применение промысловой статистики из суточных судовых донесений, в противном случае происходит искажение получаемой информации о запасе крабов-стригунов и синего краба. Подобные рассуждения применимы и для оценки промыслового запаса синего краба в районе залива Шелихова. Если использовать только данные суточных судовых донесениях (ССД) или проводить учётные съёмки, значительно различающиеся по площади, или делать большие перерывы (2 и более лет) в сборе научных данных с помощью учётных съёмок, то выполненные на основе этих данных оценки и расчёты будут недостоверны.

В районе залива Шелихова синий краб имеет отчётливые сезонные миграции [Лысенко, 2001; Шагинян, 2014; 2019]. Осенью взрослая часть популяции (от 70–80 мм) как самки, так и самцы уходят в район Шелиховского каньона, где они зимуют до марта-апреля следующего года. Непромысловые самцы и самки зимуют на свалах с глубинами 180–250 м, в марте-апреле они начинают миграцию на мелководье. Самцы промыслового размера зимуют на свалах и в ложе каньона на глубинах 200–405 м, а в районах, расположенных южнее  $58^{\circ}00'$  с. ш., максимальная глубина зимовки синего краба возможно сходна с распространением этого вида зимой на юго-востоке Сахалина – до 567 м [Моисеев, Моисеева, 2017]. В районе залива Шелихова в мае-июне промысловые самцы начинают миграции в сторону мелководий прибрежной зоны. Учётные съёмки, проходящие в апреле-мае, когда основная часть промысловых

самцов продолжает оставаться на склонах глубоководной части залива, позволяют контролировать промысловую часть синего краба, обитающую в районе залива Шелихова.

В первой половине года весь промысел синего краба сосредоточен в центральной части каньона. Добывающие суда располагаются на плотных скоплениях синего краба, расположенных на небольшой площади – не более 3–5 тыс. км<sup>2</sup>. Например, во время учётной ловушечной съёмки 2019 г. максимальные уловы синего краба приходились на площадь около 7,5 тыс. км<sup>2</sup> в районе склонов глубоководной части залива. Здесь было сосредоточено около 55–60% промыслового запаса от рассчитанного для всей акватории (см. табл. 1). В это же время (апрель-май 2019 г.) промысловые суда выставляли ловушечные порядки на участках с высокими промысловыми концентрациями синего краба, располагавшихся всего на 1–1,5 тыс. км<sup>2</sup>, при этом величина численности промысловых особей на этой площади могла достигать 15–25% от расчётного промыслового запаса для всей площади учётной съёмки. Поэтому, оценка промыслового запаса с применением только статистической базы ССД будет иметь большое искажение. Применение данных ССД в периоды увеличения промыслового запаса в популяции синего краба и/или в периоды его стремительного падения следует учитывать следующее обстоятельство – независимо от численности промысловой части в популяции синего краба краболовные суда с января по май работали и будут работать на очень плотных скоплениях (не менее 1000–2500 экз./км<sup>2</sup>) крабов, которые образуются в это время на склонах Шелиховского каньона. В связи с этим у промысловых судов будут наблюдаться высокие среднесуточные выловы (если не будет экономически выгодно растягивать время нахождения судна в море в режиме промысла). За период промысла судов с января по май, при хорошей ледовой обстановке, среднесуточные уловы всегда будут составлять от 5–7 до 10 тонн. Но при этом следует учитывать, что такие промысловые нагрузки зависят не только от концентрации объекта промысла в районе работы судна, но и от конъюнктуры спроса на рынке морепродуктов и от множества других, не учитываемых в расчётах факторов.

### *Промысловые самцы, сравнительный анализ индексов $I\%N$ , $I\%P$ и $I\%M$*

На примере функциональной группы, состоящей из промысловых самцов синего краба, необходимо рассмотреть три индекса, выраженные в процентах: индекса мгновенной численности ( $I\%N$ ), индекса



плотности распределения ( $I\%P$ ) и индекса относительного среднесуточного вылова ( $I\%M$ ) за период с 1 января по 15 июня. Такой сравнительный подход реализуется в рамках метода рациональной и оперативной оценки состояния промыслового скопления крабов, предложенной А.Ю. Огурцовым [2005]. За период с 2007 по 2011 гг. для промысловых самцов сопоставление индексов  $I\%N$ ,  $I\%P$  и  $I\%M$  (рис. 5) показывает следующее:

1 – индекс  $I\%P$  (индекс относительной плотности) был бы наиболее стабильным при равенстве площадей учётных съёмок, а неопределённость в динамике этого индекса (см. рис. 3 и 5) внесла съёмка 2012 г., выполненная на малой площади, расположенной на промысловых скоплениях в глубоководной части залива. В связи с этим для  $I\%P$  характерна унимодальность (см. рис. 3) как для самцов – 2012 г., так и для самок – 2013 г.;

2 – индекс  $I\%M$  (индекс относительного среднесуточного вылова) имел наихудшие показатели до 2013 г. (рис. 5), что было связано с организационно-правовыми неопределённостями в методах отчётности [Шагинян, 2014], и не всегда он достоверно отражает минимальные и максимальные показатели в суточных судовых донесениях;

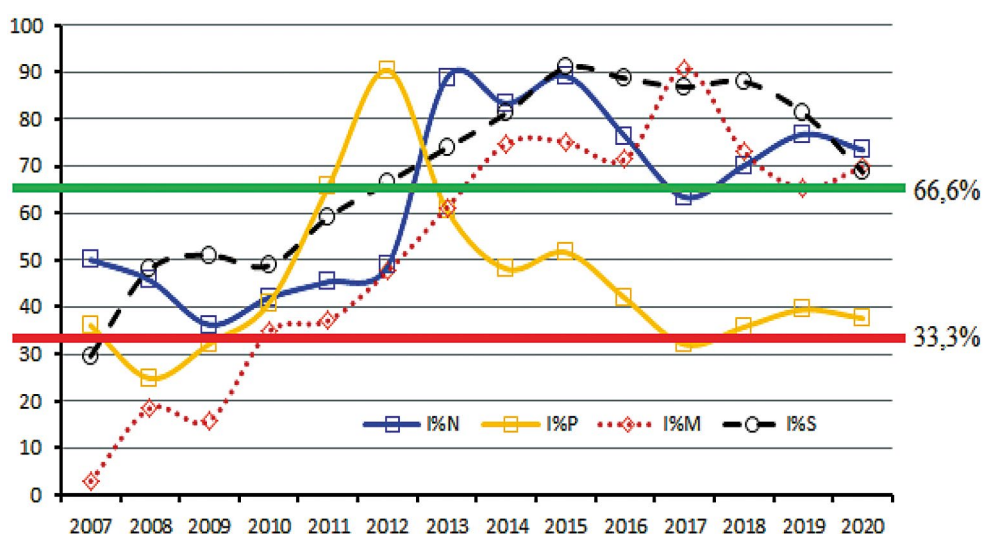
3 – индекс  $I\%N$  (индекс относительной численности) как и индекс  $I\%P$  был бы наиболее стабильным при равенстве площадей учётных съёмок, а неопределённость в динамике этого индекса (см. рис. 2 и 5) внесла ловушечная съёмка 2012 г., выполненная на малой площади с высокой плотностью скоплений различных функциональных групп самцов.

Таким образом, по нашему мнению, наиболее приемлемым индикатором оценки состояния запаса различных функциональных групп синего краба, является индекс относительной численности  $I\%N$ . Это утверждение связано с тем, что:

1) индекс относительной плотности  $I\%P$  может давать завышенную величину при выполнении учётной съёмки на малой площади только в районе скоплений различных функциональных групп (см. табл. 1 и рис. 2–3) и этим обстоятельством исказить действительную картину динамики этого индекса;

2) динамика индекса среднесуточного вылова  $I\%M$  отображает динамику только промысловой части популяции с небольших полигонов с промысловыми концентрациями крабов, на которых работают краболовные суда. Кроме того,  $I\%M$  подвержен влиянию человеческого и экономико-организационного фактора, от которых зависит производительность судна (см. рис. 4).

В настоящее время оценку промыслового запаса синего краба в районе Западно-Камчатской подзоны проводят с применением математического моделирования [Ильин, Иванов, 2015]. Поэтому, за период 2007–2020 гг. для значений, полученных по такому методу оценки запаса, так же был определен индекс относительного значения промыслового запаса ( $I\%S$ ). Этот индекс был рассчитан по алгоритму, сходному с тремя индексами для промысловых самцов, – относительной численности ( $I\%N$ ), средней плотности распределения ( $I\%P$ ) и среднесуточного вылова судов ( $I\%M$ ). Индекс относительного значения промыслового запаса  $I\%S$  был рассчитан от максимально возможного значения промыслового запаса, равного 15,53 млн экз., и принят за 100%.



**Рис. 5.** Сравнение индексов для промысловых самцов:  $I\%N$  – относительной численности;  $I\%P$  – средней плотности распределения;  $I\%M$  – среднесуточного вылова судов за период с 1 января по 15 июня и  $I\%S$  – индекс относительного промыслового запаса для значений, полученных с применением математического моделирования; 33,3% и 66,6% – пороговые значения метода «светофора»

Динамика различных индексов, выраженных в едином масштабе (%), характеризует состояние промысловой части популяции синего краба в ретроспективе (рис. 5). Относительные индексы, являясь индикаторами, хорошо встраиваются в существующую практику применения трёхзонального правила регулирования промысла (предосторожный подход, метод «светофора» с пороговыми значениями, равными 33,3 и 66,6 процентиля). Следует отметить, что индекс относительного значения промыслового запаса  $I\%S$ , полученный с применением математических расчетов по О.И. Ильину и П.Ю. Иванову [2015] на среднесрочную перспективу, даёт более сглаженную ретроспективную кривую линию, чем другие относительные индексы ( $I\%N$ ,  $I\%P$  и  $I\%M$ ). Но при оценке численности/запаса за последние три года (2018–2020 гг.) менее вариabельными уже оказываются индексы натуральных величин (среднесуточный вылов судов, численность по данным учетных съёмов и средняя плотность распределения крабов). В 2020 г. все индексы сходятся практически в одной точке, за исключением индекса плотности  $I\%P$  (рис. 5), что было связано с малой площадью исследований, проведённых в районе формирования промысловых скоплений синего краба.

#### *Применение индекса относительной численности ( $I\%N$ ) для оперативной оценки состояния запаса/численности*

Материал по оценке численности или запаса различных функциональных групп синего краба, полученный эмпирическим путём во время учётных съёмов, в основном представляется в абсолютных единицах в табличной форме (см. табл. 1) либо в виде гистограмм различной формы. В дальнейшем состояние запаса оценивается с привлечением различных математических расчётов как на текущий период (в год проведения съёмки), так и на краткосрочную (1–2 года) и/или средне-долгосрочную перспективу. Для оценки промыслового запаса в математические расчеты включают различные фильтры и допущения с выявлением и исключением так называемых «серых» и «белых» шумов [Михеев, 2003; Баканев, 2008; 2016; Ильин, Иванов, 2015; 2018; Черниенко, Черниенко, 2019]. В основу расчётов закладывается множество параметров, но основу составляют данные суточных судовых донесений отраслевой системы мониторинга Росрыболовства, грубые экспертные данные незаконного промысла, данные учётных съёмов и научных наблюдений во время мониторинга промысла. Если первые два основных параметра данных употребляются в расчётах, то возникает проблема их неопределённости из-за влияния человеческого фактора

при составлении промыслово-статистической информации. Два следующих параметра лишены влияния этого фактора. Поэтому, прямые эмпирические научные наблюдения, хотя тоже имеют недостатки, связанные с особенностями работы самплера, но эти недостатки являются постоянными и не зависят от преднамеренных экономическо-организационных особенностей, возникающих при ведении промышленного лова, и соответственно не искажают данные различных статистических наблюдений.

Применяемые на сегодняшний день математические модели прогнозирования запаса на 1–2 года вперёд могут иметь значительное расхождение с эмпирическими данными, получаемыми в последующие за расчётными периодами годы [Ильин, Иванов, 2015; Черниенко, 2016; Черниенко, Черниенко, 2019; Буяновский, 2019 а, б; 2020 а, б]. Ранее на примере синего краба в заливе Шелихова было показано, что каждая вновь выполненная учётная съёмка корректирует предполагаемые значения численности, сделанные ранее по моделям – до 10%, если прогноз сделан на 1 год вперёд, и до 26%, если прогноз даётся на 2 года [Сологуб, Шагинян, 2015].

Для прогностической оценки состояния запаса синего краба в районе залива Шелихова на 1 год вперёд (например, на 2020 г.), можно было использовать среднее значение индекса относительной численности  $I\%N$ , сформировавшегося за последние два года (2018–2019 гг.). Но такой подход будет приемлем при стабильной численности крабов. В годы, когда происходят значительные колебания численности в популяции синего краба, будут и значительные ошибки индекса  $I\%N$ , что наблюдается, впрочем, и для результатов различных методов математического моделирования запаса. Если для определения прогнозной величины промыслового запаса с использованием различных функциональных групп краба предполагается использовать в расчётах сложный и трудоёмкий математический аппарат, то применение индекса относительной численности  $I\%N$  для оперативного краткосрочного прогноза будет простым и доступным решением в любых условиях проведения исследований. Безусловно, что для более полного и точного описания складывающейся ситуации в эксплуатируемой единице запаса применение современного математического моделирования этого запаса на 1–3 года вперед является приоритетным методом прогнозирования.

Мы предполагаем, что на первом этапе получения промыслово-биологической информации, когда исследователь находится в экспедиционных условиях, то для оперативной оценки состояния запаса можно

отойти от применения сложных математических расчетов, а использовать более простой метод определения индикаторов, отражающих относительное состояние запаса. Предложенный нами индекс относительной численности ( $I\%N$ ) определяется на основе текущих (новых) данных и показывает состояние конкретной группы крабов в сравнительной динамике на протяжении всего интересующего периода исследований в процентном выражении.

В целом алгоритм расчёта индекса относительной численности ( $I\%N$ ) имеет сходство с ранее предложенным методом оценки запаса для промысловых скоплений четырёхугольного волосатого краба *Erimacrus isenbeckii* (Brandt, 1848). На примере постоянно существующего в южной части Западного Сахалина промыслового скопления *E. isenbeckii* А.Ю. Огурцов [2005] показал, что уловы на усилие за определённый изучаемый период (1994–2002 гг.) можно объединять, переводя уловы в проценты к максимальному вылову, наблюдавшемуся за этот период. Применение автором относительных единиц, выраженных в одном масштабе (в %), позволило ему использовать различные выборки как единый массив данных и сравнить результаты учётных съёмок, выполненных в различные годы и сезоны. «Карты распределения уловов на усилие, построенные по таким массивам, более достоверно отображают процессы, происходящие внутри скопления, и позволяют оперативно определять моментальный промысловый запас краба за выбранный период времени» [стр. 301]. В своей работе автор показал, что простой, не требующий применения сложного математического аппарата метод оценки запаса, позволяет быть самостоятельным и самодостаточным оперативным подходом, наравне со

сложными и громоздкими математическими расчётами, применяемыми сегодня для оценки промыслового запаса крабов.

Индекс относительной численности  $I\%N$  позволяет охарактеризовать текущее состояние численности любой функциональной группы синего краба (и/или любого другого промыслового вида крабов). Мы предлагаем шкалу с индексом относительной численности  $I\%N$  от 0 до 100 (ось ординат, см. рис. 2) разделить на четыре квантили ( $Q$ ) или интервала (по 25 единиц или процентов). В этом случае квантили выполняют роль индикатора (показателя), характеризующего оценку численности как состояние в той или иной группе крабов. Ниже предлагается следующая трактовка качественных показателей индекса  $I\%N$  по квантилям:

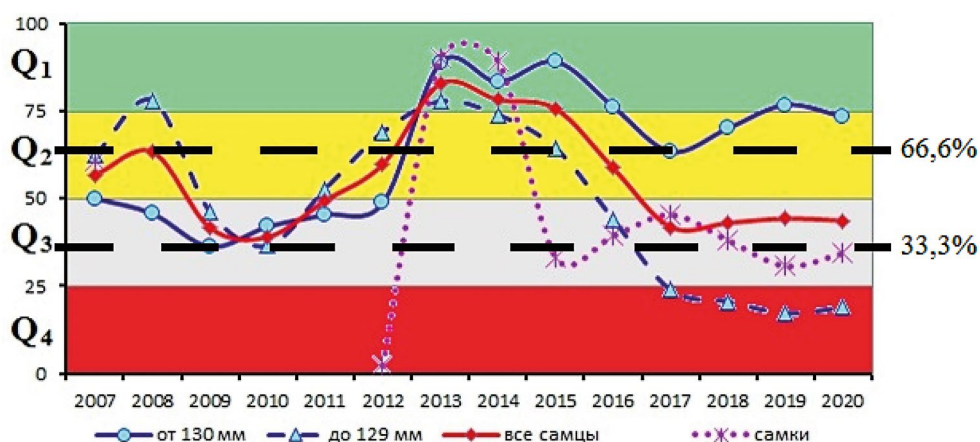
1-й квантиль ( $Q_1$ ). При  $I\%N < 75$  – состояние запаса изучаемой группы *хорошее* (если значения выше 85, можно характеризовать как *очень хорошее*);

2-й квантиль ( $Q_2$ ). При  $I\%N$  от 51 до 75 – состояние запаса изучаемой группы *удовлетворительное или относительно стабильное*;

3-й квантиль ( $Q_3$ ). При  $I\%N$  от 26 до 50 – состояние запаса изучаемой группы *неопределённое*;

4-й квантиль ( $Q_4$ ). При  $I\%N \leq 25$  – состояние запаса изучаемой группы *неудовлетворительное или депрессивное*.

Граничными значениями между квантилями являются величины индекса  $I\%N$  равные 25, 50 и 75 разделяющие граничные квантили  $Q_1-Q_2$ ,  $Q_2-Q_3$  и  $Q_3-Q_4$ , соответственно (рис. 6). По аналогии с методом «светофора» [Буяновский, 2020 а, б] мы выделяем не три, а четыре цветовых зоны – зелёная, жёлтая, серая и красная.



**Рис. 6.** Вариабельность индекса численности  $I\%N$  среди различных групп синего краба в 2007–2020 гг. Ось ординат  $I\%N$  – индекс относительной численности.

Обозначение:  $Q$  квантили –  $Q_1$  ( $< 75$ ),  $Q_2$  (51–75),  $Q_3$  (26–50) и  $Q_4$  ( $\leq 25$ ); 33,3% и 66,6% – пороговые значения метода «светофора»

Графическая динамика индекса относительной численности наглядно демонстрирует, что оптимальный период состояния для всех групп самцов синего краба был в 2013–2015 гг., а самок в 2013–2014 гг. В последние 4 года младшие функциональные группы самцов находятся в депрессивной зоне четвертого квартиля ( $Q_4$ ). Промысловая часть запаса сейчас пребывает в удовлетворительном состоянии ( $Q_2$ ), на уровне граничного значения между  $Q_1$ – $Q_2$  (рис. 6). В целом же, на современном этапе в популяции *P. platypus*, обитающей в районе залива Шелихова как самцы, так и самки находятся в зоне неопределённости 3-го квартиля. Данное обстоятельство предполагает необходимость бережного отношения к оценке ресурсов синего краба в районе его интенсивного промысла – в северной части Западно-Камчатской рыбопромысловой подзоны. По-видимому, до появления урожайного поколения среди молоди самцов и их вступления в промысловую часть объёма ОДУ должны оставаться на уровне объёмов, которые были в последние три года – не более 10–15% от оценённого промыслового запаса.

Таким образом, применение индекса относительной численности  $I\%N$  можно успешно использовать для оперативных оценок состояния запаса промысловых крабов и включать этот индикатор качественной оценки на этапе подготовки первичных научно-информационных отчётов. При подготовке заключительных отчётов и прогнозных материалов в случае необходимости можно применять и более сложные математические расчёты, ставшие уже неотъемлемой частью среднесрочного прогнозирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учётные съёмки, выполненные в заливе Шелихова с 2007 по 2019 гг., показали – в последние годы динамика индекса относительной численности  $I\%N$  среди промысловых и непромысловых самцов синего краба была разнонаправленной (см. рис. 2). Промысловые самцы находились в градиентной зоне между первым и вторым квартилем индекса (хорошее или удовлетворительное, близкое к хорошему состояние запаса/численности), а непромысловые особи самцов стабильно находились в четвертом квартиле (неудовлетворительное или депрессивное состояние запаса). При объединении данных по индексу  $I\%N$  для всех самцов и сравнении их с индексом  $I\%N$  самок можно заметить, что в целом численность популяции синего краба в последние годы находится в нестабильной ситуации (см. рис. 6) – их запас носит неопределённый характер (третий квартиль с индексом  $I\%N$  менее 50 единиц). Поэтому, на современном этапе к оценке

объёмов изъятия (ОДУ) синего краба в заливе Шелихова необходимо относиться с максимальной предосторожностью, до появления среди непромысловой молоди самцов особей нового урожайного поколения. Возможно, в среднесрочной перспективе (1–3 года) появление урожайного поколения среди самцов будет взаимосвязано и с появлением урожайного молодого поколения среди самок, как это наблюдалось в 2013–2014 гг. (см. рис. 2).

Динамика индексов относительной численности различных функциональных групп синего краба, с одной стороны, является четырёхзональным правилом, характеризующим состояние эксплуатируемой популяции синего краба. Но с другой стороны, с указанием пороговых значений (33,3 и 66,6 процентиля, см. рис. 6) относительный индекс численности  $I\%N$  может быть хорошим приложением к пониманию и применению трёхзонального правила регулирования промысла (метод «светофора»).

В настоящее время в популяции синего краба, обитающей в районе залива Шелихова, состояние биомассы по численности, сохранится на уровне последних 3–4 лет. В случае проведения учётных съёмов весной 2022 г. новые данные помогут скорректировать предполагаемые средние значения индекса  $I\%N$  (индекса относительной численности) для различных функциональных групп синего краба, полученные на 2020 г. (см. рис. 6).

На примере исследований синего краба в районе залива Шелихова показано, что в экспедиционных условиях при подготовке информационных отчётов о результатах рейса применение индекса относительной численности  $I\%N$  позволяет оперативно оценить состояние исследуемой единицы запаса. Индекс относительной численности отражает вариабельность численности промысловой единицы запаса в определённом историческом периоде для различных функциональных групп краба. Такой подход наиболее эффективен будет в экспедиционных условиях, проводимых в режиме промысловой разведки [Моисеев, Моисеева, 2016; 2017]. Это режим работы судна с научными сотрудниками и со стандартным промысловым вооружением на борту, выполняющего мониторинг промысла и/или учётную съёмку не только в районе работы промысловых судов, но и на участках вероятного обитания объекта промысла, включая близлежащие участки возможной миграции и/или образования скопления объекта промысла.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность коллегам, участвовавшим в сборе

данных, научным сотрудникам КамчатНИРО Гайдаеву В.Э., Горба Е.В., Овчинниковой З.Н., Дунаеву Р.В., Яковлеву А.Ю., Морозову Т.Б., а так же сотрудникам ВНИРО Ботневу Д.А. и Артеменкову Д.В.

### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Д.О., Буяновский А.И., Бизиков В.А. 2017. Принципы построения единой стратегии регулирования промысла крабов в морях России // Вопросы рыболовства Т. 18. № 1. С. 21–41.
- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: ВНИРО. 192 с.
- Баканев С.В. 2008. Результаты применения стохастической когортной модели CSA для оценки запаса камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. Т. 9. № 2 (34). С. 294–306.
- Баканев С.В. 2016. Методы оценки ориентиров управления запасом камчатского краба в Баренцевом море // Труды ВНИРО. Т. 161. С. 16–26.
- Бизиков В.А., Буяновский А.И., Гончаров С.М., Поляков А.В., Попов С.Б., Сидоров Л.К. 2013. Базы данных и геоинформационные системы в управлении водными биологическими ресурсами // Актуальные вопросы рационального использования водных биологических ресурсов. Мат. I Науч. шк. мол. учёных и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, посвященной 100-летию со дня рождения проф. П.А. Моисеева. (15–19 апреля 2013 г.; Звенигород). М.: Изд-во ВНИРО. С. 108–133.
- Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. 2006. Новая географическая информационная система «Картмастер» для обработки данных биоресурсных съёмок // VII Всеросс. конф. пром. беспозв. М.: Изд-во ВНИРО. С. 18–24.
- Буяновский А.И. 2012. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО. 222 с.
- Буяновский А.И. 2019 а. К использованию моделей истощения для оценки промысловых запасов крабов // Вопросы рыболовства. Т. 20. № 1. С. 107–122.
- Буяновский А.И. 2019 б. Использование промысловой статистики для оценки динамики запаса краба-стригуна Бэрда // Вопросы рыболовства. Т. 20. № 4. С. 497–512.
- Буяновский А.И. 2020 а. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригуна опилио в морях России // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 1. С. 106–124.
- Буяновский А.И. 2020 б. Динамика промысловых запасов синего краба в морях России с учетом данных промысловой статистики // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 4. С. 423–439.
- Буяновский А.И., Алексеев Д.О. 2017. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 3. С. 268–282.
- Виноградов Л.Г. 2013. Избранные труды. М.: Изд-во ВНИРО. 502 с.
- Ильин О.И., Иванов П.Ю. 2015. Об одном модельном подходе к оценке состояния запасов камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* западнокамчатского шельфа // Изв. ТИНРО. Т. 182. С. 38–47.
- Ильин О.И., Иванов П.Ю. 2018. К оценке состояния запасов краба-стригуна бэрди Камчатско-Курильской подзоны // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 50. С. 27–33.
- Клитин А.К. 1996. Камчатский краб шельфовой зоны о. Сахалин (литературный обзор, история промысла, пространственная и функциональная структура популяций) // Вестник сахалинского музея. № 1(3). С. 324–342.
- Лысенко В.Н. 2001. Особенности биологии самцов синего краба *Paralithodes platypus* в северо-восточной части Охотского моря // Биология моря. Т. 27. № 3. С. 173–178.
- Лысенко В.Н., Гайдаев В.Э. 2005. Рост камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в северной части западнокамчатского шельфа // Изв. ТИНРО. Т. 143. С. 119–127.
- Матишов Г.Г. 2008. Биология и физиология камчатского краба прибрежья Баренцева моря. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 168 с.
- Михеев А.А. 2003. Стохастическая когортная модель для беспозвоночных с прерывистым ростом // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях: Труды СахНИРО. Т. 5. С. 216–242.
- Михеев А.А. 2004. Моделирование стохастических процессов в эксплуатируемых популяциях рыб и беспозвоночных // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 24 с.
- Михеев А.А., Букин С.Д., Первеева Е.Р., Живоглядова Л.А., Крутченко А.А., Смирнов И.П. 2012. Оценка запасов беспозвоночных в Сахалино-Курильском районе на основе анализа временных рядов уловов с применением фильтра Калмана // Изв. ТИНРО. Т. 168. С. 99–120.
- Моисеев С.И. 2009. Межгодовые колебания плотности распределения камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в районе Западной Камчатки за 2004–2008 гг. // X Всерос. конф. по проблемам рыбопромыслового прогнозирования. Тез. докл. (г. Мурманск, 6–8 октября 2009 г.). Мурманск: ПИНРО. С. 96–97.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2016. Материалы оперативного мониторинга промысловых крабов в Охотском море в осенне-зимний период 2015 г. // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 198–206.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2017. Мониторинг промысловых крабов в Охотском море в осенне-зимний период 2016 г. // Труды ВНИРО. Т. 165. С. 176–184.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2019. Исследования доминирующих промысловых видов крабов Охотского моря осенью 2018 г. и весной 2019 г. // Труды ВНИРО. Т. 177. С. 204–214.

- Огурцов А.Ю. 2005. К методике оценки запаса волосатого краба по данным ловушечных съемок в Татарском проливе // Труды ВНИРО. Т. 144. С. 294–303.
- Слизкин А.Г., Долженков В.Н. 1997. К вопросу об изменении и установлении промысловой меры для некоторых видов крабов дальневосточных морей // Рыбное хозяйство. № 2. С. 43–44.
- Сологуб Д.О., Шагинян Э.Р. 2015. К вопросу оценки пополнения и прогнозирования промыслового запаса синего краба (*Paralithodes platypus*) в северо-восточной части Охотского моря // VIII Всерос. науч. конф. по промысловым беспозвоночным. Мат. докл. Калининград: КГТУ. С. 101–103.
- Черниенко И.А. 2016. Моделирование динамики запаса колючего краба *Paralithodes brevipes* южных Курильских островов конечно-разностной моделью с запаздыванием // Изв. ТИНРО. Т. 185. С. 102–111.
- Черниенко И.С., Черниенко Э.П. 2019. Мультимодельный подход к прогнозированию некоторых единиц запаса водных биологических ресурсов Сахалино-Курильского региона // Вопросы Рыболовства. Т. 20. № 3. С. 374–386.
- Шагинян Э.Р. 2014. Состояние запаса и оценка численности синего краба (*Paralithodes platypus*, Brandt) Западно-Камчатской под-зоны в путину 2013 г. // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и Северозападной части Тихого океана. Вып. 35. С. 56–62.
- Шагинян Э.Р. 2019. Промысел синего краба в Западно-Камчатской подзоне Охотского моря в 2013–2018 гг. // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и Северозападной части Тихого океана. Вып. 55. С. 92–106.

Поступила в редакцию 17.02.2021 г.

Принята после рецензии 19.03.2021 г.

## Relative abundance index as an operational assessment of the state of the king blue crab stock in the Shelikhov Bay of Okhotsk Sea

S.I. Moiseev<sup>1</sup>,  
D.O. Sologub<sup>1</sup>,  
E.R. Shaginyan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Kamchatka Branch of VNIRO («KamchatNIRO»), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

The material of spring registration surveys of the blue king crab *Paralithodes platypus* conducted in the Shelikhov Bay of the Okhotsk Sea from 2007 to 2019 is presented. It is proposed to use the relative abundance index ( $I\%N$ ) for a quick assessment of the characterizing state of the stock of the exploited population. The index  $I\%N$  is defined as the ratio of the number of a separate functional group of the crab to the maximum number for this group of crab in the study period, expressed as a percentage. A similar algorithm was used to determine the index of the relative density of the distribution of crabs ( $I\%P$ ) and the index of the relative average daily catch of fishing vessels for the first half of the year ( $I\%M$ ). When comparing the relative indices  $I\%N$ ,  $I\%P$ ,  $I\%M$ , the most convincing was the relative population index  $I\%N$ . To assess the stock status of the studied functional group of crabs in the values of the index  $I\%N$ , it was proposed to distinguish 4 quartiles (interval 25 units): 1st quartile ( $Q_1$ )  $I\%N < 75$  stock condition is good; 2nd quartile ( $Q_2$ )  $I\%N = 51-75$  stock condition is satisfactory or relatively stable; 3rd quartile ( $Q_3$ )  $I\%N 26-50$  stock status uncertain; 4th quartile ( $Q_4$ )  $I\%N \leq 25$  stock status is unsatisfactory or depressive. The boundary values between quartiles  $Q_1-Q_2$ ,  $Q_2-Q_3$ , and  $Q_3-Q_4$  are  $I\%N$  values of 75, 50, and 25, respectively. The dynamics of the  $I\%N$  index in the studied time period reflects the real process taking place in the fishing unit of the stock based only on empirical data.

**Keywords:** *Paralithodes platypus*, abundance, stock, distribution, coefficient, relative abundance index.

### REFERENCES

- Alekseyev D.O., Buyanovskiy A.I., Bizikov V.A. 2017. Printsipy edinoj strategii regulirovaniya promysla krabov i kraboidov v moryakh Rossii [General organizing principles of a unified strategy for managing crabs and king crabs fishery in the seas of Russia] // Voprosy rybolovstva. T. 18. No 1. S. 21–41.
- Babayan V.K. 2000. Predostorozhnyj podhod k ocenke obshchego dopustimogo ulova (ODU): Analiz i rekomendacii po primeneniyu [Precautionary Approach to Assessment of Total Allowable Catch (TAC): Analysis and practical recommendations]. M.: Izd-vo VNIRO. 192 p.
- Bakanev S.V. 2008. Rezultaty primeneniya stohasticheskoj kogortnoj modeli CSA dlya ocenki zapasa kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v Barencevom more [Application of a stochastic cohort model CSA for red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in the Barents Sea] // Voprosy rybolovstva. T. 9. № 2(34). S. 294–306.
- Bakanev S.V. 2016. Metody ocenki orientirov upravleniya zasposom kamchatskogo kraba v Barencevom more [Estimation methods for biological reference points of king crab stock in the Barents Sea] // Trudy VNIRO. T. 161. C. 16–26.
- Bizikov V.A., Buyanovskij A.I., Goncharov S.M., Polyakov A.V., Popov S.B., Sidorov L.K. 2013. Bazy dannyh i geoinformatsionnye sistemy v upravlenii vodnymi biologicheskimi resursami [Application of databases and geographic information systems for the fishery management] // Aktual'nye voprosy ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnyh biologicheskikh resursov. Mat. I nauch. shk. mol. uchenyh i spetsialistov po rybnomu hoz'yajstvu i ehkologii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. P.A. Moiseeva. (15–19 aprelya 2013 g.; Zvenigorod). M.: Izd-vo VNIRO. P. 108–133.
- Bizikov V.A., Goncharov S.M., Polyakov A.V. 2006. Novaya geograficheskaya informatsionnaya Sistema «Kartmaster» dlya obrabotki dannyh bioresursnyh s"emok [GIS «Chartmaster» – new geographic information system for processing the data of hydrological surveys] // VII Vseross. konf. prom. bespozv. M.: Izd-vo VNIRO. P. 18–24.
- Buyanovsky A.I. 2012. Prognoz potentsialnogo vylova pribrezhnykh bespozvonochnykh pri zatrudnenii s otsenкой zapasa [Forecast of potential catch for coastal invertebrates: data-poor cases]. Moscow: Izd-vo VNIRO. 222 s
- Buyanovsky A.I. 2019 a. K ispolzovaniyu modelej istoshcheniya dlya ocenki promyslovyh zasposov krabov [On application of the depletion models for the commercial crabs stocks assessment] // Voprosy rybolovstva. T. 20. № 1. S. 107–122.

- Buyanovsky A.I. 2019 b. Ispol'zovanie promyslovoj statistiki dlya ocenki dinamiki zapasa kraba-striguna Berda [Use of fisheries statistics for the tanner crab stock dynamics] // Voprosy rybolovstva. T. 20. № 4. S. 497–512.
- Buyanovsky A.I. 2020 a. Ispolzovanie promyslovoj statistiki dlya korekcirovki ocenok zapasov kraba-striguna opilio v moryah Rossii [The snow crab fishery statistics in the Russian seas: attempt of the corrected assessment application] // Voprosy rybolovstva. T. 21. № 1. S. 106–124.
- Buyanovsky A.I. 2020 b. Dinamika promyslovyh zapasov sinego kraba v moryah Rossii s uchedom dannyh promyslovoj statistiki [The blue king crab commercial stocks dynamics in the Russian seas with account on fisheries statistics] // Voprosy rybolovstva. V. 21. № 4. P. 423–439.
- Buyanovsky A.I., Alexeyev D.O. 2017. Promyslovaya statistika kak indikator sostoyaniya zapasa promyslovyh bespozvonochnyh [Fisheries statistics as indicator of stock assessment of marine invertebrates] // Voprosy rybolovstva. T. 18. № 3. S. 268–282.
- Vinogradov L.G. 2013. Izbrannyye Trudy [Selected works]. M.: Izd-vo VNIRO. 502 s.
- Ilyin O.I., Ivanov P. Yu. 2015. Ob odnom modelnom podhode k ocenke sostoyaniya zapasov kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* zapadnokamchatskogo shelfa [On one model approach to stock assessment for red king crab *Paralithodes camtschaticus* on the shelf of West Kamchatka] // Izvestiya TINRO. T. 182. S. 38–47.
- Ilyin O.I., Ivanov P. Yu. 2018. K ocenke sostoyaniya zapasov kraba-striguna berdi Kamchatsko-Kuril'skoj podzony [To the stock abundance assessment of tanner crab in the kamchatka-kurile subzone] // Issledovaniya vodnyh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana. Vyp. 50. S. 27–33.
- Klitin A.K. 1996. Kamchatskij krab shelfovoj zony o. Sahalin (literaturnyj obzor, istoriya promysla, prostranstvennaya i funkcionalnaya struktura populyacij) [The red king crab of the shelf zone o. Sakhalin (literary review, history of fishing, spatial and functional structure of populations)] // Vestnik sahalinskogo muzeya. № 1(3). S. 324–342.
- Lysenko V.N. 2001. Osobennosti samcov sinego kraba v severovostochnoj chasti Ohotskogo moray [Peculiarities of the biology of the blue king crab *Paralithodes platypus* in the northeastern Sea of Okhotsk] // Biologiya morya. T. 27. № 3. S. 173–178.
- Lysenko V.N., Gaidaev V.E. 2005. Rost kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v severnoj chasti zapadnokamchatskogo shelfa [Growth of the red king crab *Paralithodes camtschaticus* in the northern part of the West Kamchatka shelf] // Izvestiya TINRO. T. 143. S. 119–127.
- Matishov G.G. 2008. Biologiya i fiziologiya kamchatskogo kraba pribrezh'ya Barenceva morya [Biology and physiology of the red king crab from the coastal zone of the Barents Sea]. Apatity: Izd-vo KNC RAN. 168 s.
- Mikheev A.A. 2003. Stokhasticheskaya kogortnaya model' dlya bespozvonochnyh s preryvistym rostom [A stochastic cohort model for invertebrates with the interrupted growth] // Biologiya, sostoyanie zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sahalino-Kuril'skom regione i sopredel'nyh akvatoriyah: Trudy SahNIRO. T. 5. S. 216–242.
- Mikheev A.A. 2004. Modelirovanie stokhasticheskikh processov v ekspluatiruemyh populyacijah ryb i bespozvonochnyh [Modeling of stochastic processes in exploited populations of fish and invertebrates]. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. 24 s.
- Mikheev A.A., Bukin S.D., Perveyeva E.R., Zhivoglyadova L.A., Krutchenko A.A., Smirnov I.P. 2012. Ocenka zapasov bespozvonochnyh v Sahalino-Kuril'skom rajone na osnove analiza vremennyh ryadov ulovov s primeneniem filtra Kalmana [Sakhalin-Kuril region invertebrate stock assessing based on the catch time series analysis with the Kalman filter application] // Izvestiya TINRO. T. 168. S. 99–120.
- Moiseev S.I. 2009. Mezhdogodovye kolebaniya plotnosti raspredeleniya kamchatskogo kraba (*Paralithodes camtschaticus*) v rajone Zapadnoj Kamchatki za 2004–2008 gg. [Interannual fluctuations in the distribution density of the Kamchatka crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the area of Western Kamchatka for 2004–2008.] // X Vseros. konf. po problemam rybopromyslovogo prognozirovaniya. Tez. dokl. (g. Murmansk, 6–8 oktyabrya 2009 g.). Murmansk: PINRO. S. 96–97.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2016. Materialy operativnogo monitoringa promyslovyh krabov v Ohotskom more v osenne-zimnij period 2015 g. [The data of operational monitoring of commercial crabs in the Okhotsk Sea in the autumn–winter 2015] // Trudy VNIRO. T. 159. S. 198–206.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2017. Monitoring promyslovykh krabov v Okhotskom more v osenne-zimnij period 2016 g. [Monitoring of commercial crabs in the Sea of Okhotsk during the autumn–winter period 2016.] // Trudy VNIRO. T. 165. S. 176–184.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2019. Issledovaniya dominiruyushchih promyslovyh vidov krabov Ohotskogo morya osen'yu 2018 g. i vesnoj 2019 g. [Studies of the dominant commercial species of crabs of the Sea of Okhotsk in autumn 2018 and spring 2019] // Trudy VNIRO. T. 177. S. 204–214.
- Ogurtsov A. Yu. 2005. K metodike ocenki zapasa volosatogo kraba po dannyh lovushechnyh s'emok v Tatarskom prolive [To the technique of the estimation of stock of *Erimacrus isenbeckii* based on crab trap survey data in the Tatar Strait] // Trudy VNIRO. T. 144. S. 294–303.
- Slizkin A.G., Dolzhenkov V.N. 1997. K voprosu ob izmenenii i ustanovlenii promyslovoj mery dlya nekotoryh vidov krabov dal'nevostochnyh morej [On the issue of changing and establishing a fishing measure for certain types of crabs in the far Eastern seas] // Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 43–44.
- Sologub D.O., Shaginyan E.R. 2015. K voprosu ocenki popolneniya i prognozirovaniya promyslovogo zapasa sinego kraba (*Paralithodes platypus*) v severo-



- vostochnoj chasti Ohotskogo morya [Consigning to recruitment and stock assessment of blue king crab (*Paralithodes platypus*) in the north-eastern Okhotsk Sea] // Promyslovye bespozvonochnye. VIII Vseros. nauch. konf. po promyslovym bespozvonochnym. Mat. dokl. Kaliningrad: KGTU. S. 101–103.
- Chernienko I.S. 2016. Modelirovanie dinamiki zapasa kolyuchego kraba *Paralithodes brevipes* yuzhnyh Kuril'skikh ostrovov konechno-raznostnoj modelyu s zapazdyvaniem [Modelling of stock dynamics for spiny king crab *Paralithodes brevipes* at southern Kuril Islands using a finite-difference model with delay] // Izvestiya TINRO. T. 185. S. 102–111.
- Chernienko I.S., Chernienko E.P. 2019. Multimodelnyj podhod k prognozirovaniyu nekotoryh edinic zapasa vodnyh biologicheskikh resursov Saxalino-Kuril'skogo regiona [Multi-model approach to some marine biological resources stock forecast in Sakhalin-Kuril region] // Voprosy Rybolovstva. T. 20. № 3. S. 374–386.
- Shaginyan E.R. 2014. Sostoyanie zapasa i oценка chislennosti sinego kraba (*Paralithodes platypus*, Brandt) Zapadno-Kamchatskoj pod-zony v putinu 2013 g. [State of stock and assessment of stock abundance of blue king crab (*Paralithodes platypus*, brandt) in the west kamchatka subzone for fishery campaign 2013] // Issled. vod. biol. resursov Kamchatki i Severozapadnoj chasti Tihogo okeana. 2014. Vyp. 35. S. 56–62.
- Shaginyan E.R. 2019. Promysel sinego kraba v Zapadno-Kamchatskoj podzone Ohotskogo morya v 2013–2018 gg. [Fishery of blue king crab in the West-Kamchatka subzone of the sea of Okhotsk in 2013–2018] // Issled. vod. biol. resursov Kamchatki i Severozapadnoj chasti Tihogo okeana. Vyp. 55. S. 92–106.

### TABLE CAPTIONS

**Table 1.** Estimation of the number of *P. platypus* according to trap surveys in 2007–2019 (million copies) and the average daily catch of fishing vessels for the first half of the year (t)

**Table 2.** Maximum possible number of different functional groups of *P. platypus* in the period 2007–2019 (million copies)

### FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** The layout of the accounting stations and the distribution of fishing individuals of the blue king crab in Shelikhov Bay in May 2019 – the first main section of the work of fishing vessels in April-May and the second minor section of the work of fishing vessels.

Designations: A-G sections and setting points of accounting stations.

**Fig. 2.** The dynamics of the coefficient of abundance index  $I\%N$  among various groups of blue king crab in 2007–2019. (ordinate axis  $I\%N$  – the index of relative abundance).

**Fig. 3.** The dynamics of the index coefficient of the relative distribution density  $I\%P$  among various groups of blue king crab in 2007–2019 (the ordinate axis  $I\%P$  is the index of relative density distribution of crabs).

**Fig. 4.** Dynamics of the index of the relative average daily catch ( $I\%M$ ) of blue king crab in 2007–2020. (The ordinate axis  $I\%M$  is the index of the average daily catch of vessels for the period from January 1 to June 15 in% ( $I\%M$  from 2007 to 2011 is incorrect due to organizational and legal uncertainties [Shaginyan, 2014]).

**Fig. 5.** Comparison of indices for commercial males –  $I\%N$  relative abundance,  $I\%P$  average distribution density,  $I\%M$  average daily catch of vessels for the period from January 1 to June 15 and  $I\%S$  index of relative fishing stock for values obtained using mathematical modeling; 33.3% and 66.6% threshold values of the “traffic light” method.

**Fig. 6.** Variability of the abundance index  $I\%N$  among different groups of blue king crab in 2007–2020. (the ordinate axis  $I\%N$  is the relative abundance index). Designation: Q quartiles – Q1 (<75), Q2 (51–75), Q3 (26–50) and Q4 ( $\leq 25$ ); 33.3% and 66.6% threshold values of the “traffic light” method.