УДК 595.384.12:639.27/.29 DOI: 10.15853/2072-8212.2019.55.72-91

К ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗУ СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА СЕВЕРНОЙ КРЕВЕТКИ *PANDALUS EOUS* MAKAROV, 1935 У ЮГО-ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

О.И. Ильин, О.Г. Михайлова

Вед. н. с., к. ф.-м. н.; ст. н. с., к. б. н.; Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («КамчатНИРО»)
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18
Тел., факс: 8 (4152) 41-27-01, 42-38-62
E-mail: ilin.o.i@kamniro.ru; mikhailova.o.g@kamniro.ru

СЕВЕРНАЯ КРЕВЕТКА, ОЦЕНКА ЗАПАСА, ПРОДУКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ШЕФЕРА, КОГОРТНАЯ МОДЕЛЬ, МОДЕЛЬ «CSA», ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ

В настоящей работе при некоторых предположениях относительно роста северной креветки предпринимается попытка методом расщепления смеси распределений определить ее возрастной состав по размерной структуре. Оцениваются средняя длина, средняя масса и доля особей промыслового размера северной креветки по возрастным группам. Полученные результаты используются для моделирования динамики и последующего вероятностного прогноза промыслового запаса и возможного вылова северной креветки у юго-западного побережья Камчатки. Для оценки запасов применяются продукционная модель Шефера, статистическая когортная модель и модель динамики функциональных групп типа «CSA».

ON STOCK ASSESSMENT AND FORECASTING THE STOCK ABUNDANCE OF NORTH SHRIMP *PANDALUS EOUS* MAKAROV, 1935 NEAR SOUTH-WESTERN KAMCHATKA

Oleg I. Ilyin, Oxana G. Mikhaylova

Leading scientist, Ph. D. (Mathematics); senior scientist, Ph. D. (Biology); Kamchatka Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (“KamchatNIRO”)
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya Str., 18
Tel., fax: +7 (4152) 41-27-01, 42-38-62
E-mail: ilin.o.i@kamniro.ru; mikhailova.o.g@kamniro.ru

NORTH SHRIMP, STOCK ASSESSMENT, SHAEFER PRODUCTION MODEL, COHORT MODEL, “CSA” MODEL, AGE COMPOSITION

Based on some assumptions about growth of north shrimp we made an attempt in this research to evaluate age composition of the crustacean from size structure using the method of mixture separation. Average length, average weight and part of individuals of commercial size were evaluated in different age groups. Obtained results were used to simulate dynamics and consequent likelihood forecast of the commercial stock and total allowed catch of north shrimp near South-Western coast of Kamchatka. Shaefer production model, statistical cohort model and model of the “CSA”-type functional groups dynamics were used for the stock abundance assessment.

Северная креветка *P. eous* относится к востребованным объектам отечественного промысла морских водных биоресурсов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне. Добыча ее ведется в Японском море, у берегов Сахалина, в юго-восточной и северной частях Охотского моря, северо-восточной части Берингова моря. Продукция из креветки поставляется как на российский рынок, так и на рынки Республики Корея, Китая и др. В 2018 г. доля вылова северной креветки у берегов Западной Камчатки составила 14% от его общего объема в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Освоение запаса креветки российскими рыбаками у берегов Западной Камчатки началось в 1998 г. О состоянии запаса в тот период имелись отрывочные сведения из японской литературы, согласно которым японские рыбаки вели здесь лов креветки в 1980-е годы. К тому времени был собран небольшой материал в летний период 1993 и 1997 гг., который дал возможность оценить численность и биомассу *P. eous*. В рассматриваемый период северная креветка стала приобретать статус основного объекта российского креветочного промысла на Дальнем Востоке (Соколов, 1999). Соответственно, возрос спрос на продукцию из креветки, увеличились объемы вылова, появилась необходимость в оценке запаса, определении ОДУ, обновлении и дополнении имеющихся данных.

Учетные донные траловые съемки в Охотском море нацелены, в первую очередь, на исследование таких значимых ВБР, как промысловые виды крабов. В этой связи изучение популяции северной креветки в юго-восточной части Охотского моря проводилось, главным образом, на промысловых судах в режиме мониторинга. Проведение научно-исследовательских работ на судах, ведущих промысел специализированным креветочным тралом, позволило оценить показатели (уловы на усилие, выход продукции и т. п.), недоступные при проведении учетных съемок. Благодаря этим исследованиям удалось получить большой биостатистический материал по северной креветке в данном районе. В последние несколько лет, помимо мониторинга запаса северной креветки специалистами КамчатНИРО на промысловых судах, осуществляется ее изучение и при проведении учетной донной траловой съемки. Объем имеющейся информации значительно вырос, что позволило усовершенствовать методику оценки запаса *P. eous*.

По мере накопления информации о состоянии запаса северной креветки совершенствовалась и методология его оценки и прогноза. В 1990-е годы использовался метод прямого учета, при котором определение текущей биомассы запаса осуществлялось по данным, полученным научными сотрудниками на промысловых судах в режиме научно-исследовательских работ. Прогноз основывался на предположении о том, что через два года запас существенно не изменится. При расчете ОДУ на этом этапе применялся репродуктивный принцип Малкина, согласно которому допустимое изъятие гидробионтов, массовое созревание которых происходит в возрасте трех лет, составляет 31% от запаса. На современном этапе данный метод не отвечает требованиям рационального рыболовства, а результаты методов прямого учета все реже напрямую используются для оценки запасов и прогнозирования ОДУ. Приоритетными в решении указанных задач являются методы математического моделирования, которые позволяют вовлекать в расчеты весь комплекс доступной информации: от данных промысловой статистики до независимых оценок методами прямого учета.

Между тем отсутствие данных о возрасте северной креветки накладывает известные ограничения на применение модельных подходов. Знание о возрасте дает возможность определить структуру популяции, пополнение, смертность, продолжительность жизни и многие другие важные биологические характеристики. У ракообразных не существует структур, регистрирующих возраст, тем не менее разработано множество различных методов для его определения. В основе этих методик, как правило, лежит анализ размерного ряда (Броневский, Сахапов, 1991; Михеев, 2011; Harding, 1949; Bhattacharya, 1967; Schnute, Fournier, 1980; Shepherd, 1987; Basson et al., 1988; Zheng et al., 1998; Gayanilo et al., 2005). В частности, в КамчатНИРО ранее использовался метод Шеперда для выделения возрастных групп из размерного ряда (Максименко, Лысенко, 2002; Михайлова, Гайдаев, 2013) с последующим применением виртуально-популяционного анализа к оценке запасов беспозвоночных.

Объем накопленных данных о состоянии популяции северной креветки у Юго-Западной Камчатки в настоящее время вполне достаточен для совершенствования метода оценки и прогноза запаса. Это и стало целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В настоящей работе для оценки запаса северной креветки в Камчатско-Курильской подзоне использованы следующие материалы:

1) Уловы на единицу промыслового усилия, по данным отраслевой системы мониторинга Росрыболовства (ОСМ) (Vasilets, 2015), судов-креветколовов, ведущих промысел в Камчатско-Курильской подзоне на протяжении исследуемого периода (2005–2018 гг.). Данные по уловам на единицу промыслового усилия стандартизованы относительно СРТМ типа «Василий Яковенко» пр. 502ЭМ с помощью обобщенных линейных моделей (McCullagh, Nelder, 1989) (GLM – generalized linear models). В качестве предикторов выбраны факторы года и типа промыслового судна. Стандартизация по модели GLM осуществлялась средствами статистического пакета R (рис. 1).

2) Размерные ряды с шагом 2 мм по результатам биоанализов, выполненных в 2005–2018 гг. в режиме мониторинга промысла северной креветки (табл. 1). На промысловых судах использовался специализированный донный трал, применяемый при добыче северной креветки. В подавляющем большинстве случаев трал перед входом в него был оснащен селективной решеткой, угол наклона которой колебался в пределах 45–49°. Данная кон-

струкция позволяет отсеивать рыбу из улова. Горизонтальное раскрытие трала находилось в пределах 35–70 м.

Сбор и обработка первичных материалов выполнялись по стандартным гидробиологическим методикам (Иванов, 2004; Низяев и др., 2006). Для анализа и обработки данных использовались программа Microsoft Excel v.7.0 с пакетом статистического анализа, а также программа Statistica 6.0.

На основании промеров северной креветки для характеристики индивидуальной массы определена ее эмпирическая зависимость от линейного размера (длины тела) особей: $W = 0{,}000002 \times Lb^{3{,}3477}$ (рис. 2).

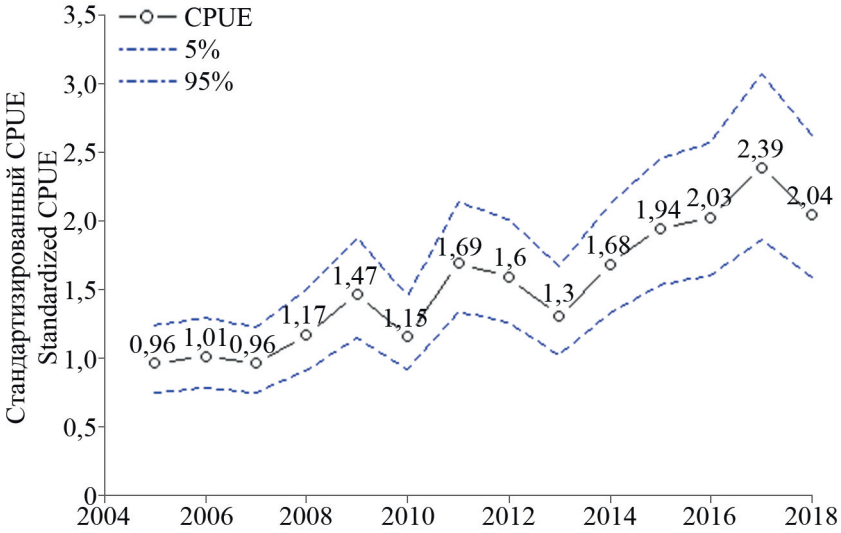

Рис. 1. Стандартизованные уловы на единицу промыслового усилия. Пунктиром обозначены границы 90%-х доверительных интервалов
Fig. 1. The standardized catches per a unit of fishing effort. The dashed lines mark the boundaries of 90% confidence intervals

Таблица 1. Объем материала по северной креветке, полученный во время мониторинговых работ в 2005–2014, 2016, 2018 гг.
Table 1. The size of the north shrimp sample, obtained in the course of monitoring in 2005–2014, 2016 and 2018

Год Year	Судно Ship	Период работ Working period	Кол-во анализов, экз. Number of analized, specs
2005	РКС «Александрит» / M/V “Alexandrit”	Сентябрь–декабрь September–December	5760
2006	МКРТМ «Сапфир-1» / M/V “Sapfir-1”	Август–ноябрь / August–November	1007
2007	МКРТМ «Сапфир-1» / M/V “Sapfir-1”	Май–июнь / May–June	2446
2008	РКС «Александрит» / M/V “Alexandrit”	Февраль–апрель / February–April	2519
2009	РКС «Александрит» / M/V “Alexandrit”	Апрель / April	–
2010	МКРТМ «Сапфир-1» / M/V “Sapfir-1”	Февраль–май / February–May	3619
2011	РКС «Александрит» / M/V “Alexandrit”	Март–апрель / March–April	3754
2012	РКС «Александрит» / M/V “Alexandrit”	Февраль–апрель / February–April	–
2013	РКС «Александрит» / M/V “Alexandrit”	Апрель–июнь / April–June	7761
2014	СТР «Капитан Меламуд» / STR “Kapitan Melamud”	Март–апрель / March–April	1950
2016	СТР «Капитан Меламуд» / STR “Kapitan Melamud” СРТМ «Элладора» / SRTM “Elladora”	Март–апрель / March–April	5355
2018	СТР «Оссора» / STR “Ossora”	Март–апрель / March–April	2050

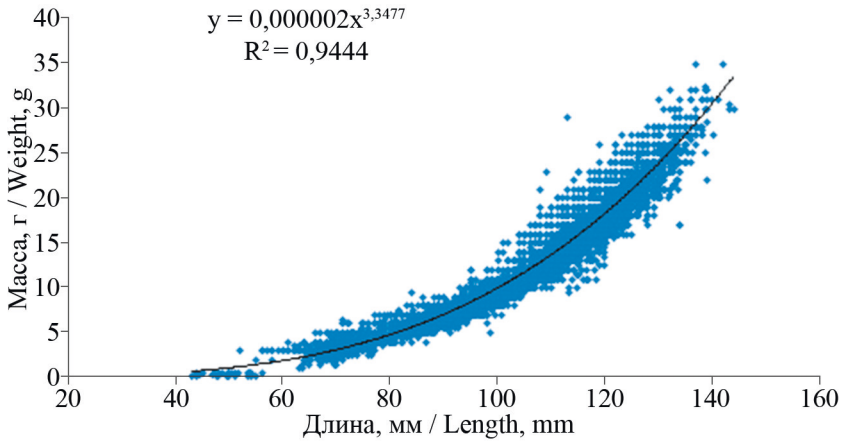

Рис. 2. Зависимость массы особей северной креветки от длины тела
Fig. 2. The length-weight relationship of north shrimp

3) Годовой вылов в 2005–2018 гг. северной креветки по данным ОСМ (рис. 3).

4) Оценки биомассы промыслового запаса по данным учетных донных траловых съемок в 2009–2018 гг. (табл. 2). На научно-исследовательских судах в качестве орудия лова использовался донный трал 27,1/33,7, вооруженный мягким грунтропом. Стандартный куток длиной 22 м снабжен двойной «рубашкой» с ячеей верха 30 мм и вставки — 10 мм. Паспортное горизонтальное раскрытие трала составляло 15–16 м.

Наблюдения проведены примерно в одни и те же сроки, одним и тем же орудием лова и стандартизованы следующим образом. Выбран полигон, который был охвачен съемкой во все без исключения годы. На площади этого полигона, по результатам учетных донных траловых съемок, оценивался запас. Полученные оценки приняты в качестве индекса запаса (рис. 4).

Для оценки состояния запаса были использованы продукционная модель, когортная модель «Синтез» и модель динамики функциональных групп типа «CSA».

Продукционная модель. Использовалась модель Шефера (Schaefer, 1954, 1957; Fletcher, 1978):

$$\frac{dB}{dt} = \frac{4m}{K}\left(1 - \frac{B}{K}\right)B - FB,$$

$$B(0) = B_0,$$

которая описывает темп изменения промысловой биомассы B со временем. Здесь t — время, F — интенсивность промысла, B_0 — промысловая биомасса на начало первого года в анализе, m и K — коэффициенты модели (максимальная продуктивность и емкость среды соответственно). Зависимость биомассы от времени при постоянном в течение года F_t задается формулой:

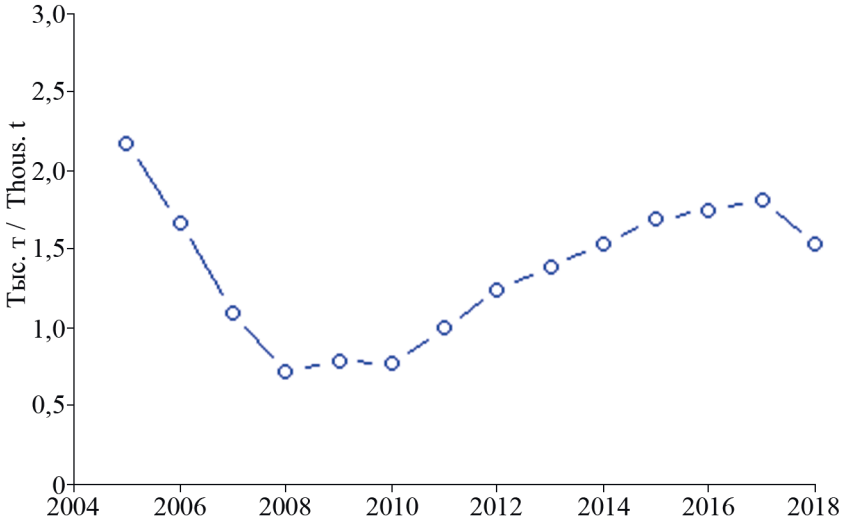

Рис. 3. Вылов северной креветки
Fig. 3. The catch of north shrimp

Таблица 2. Объем материала по северной креветке, полученного во время учетных работ в 2009–2018 гг.
Table 2. The north shrimp sample size, obtained during surveys in 2009–2018

Год Year	Судно Ship	Период работ Working period	Кол-во анализов, экз. Number of analized, specs
2009	НИС «Профессор Кизеветтер» RV “Professor Kizevetter”	Июль–август / July–August	–
2010	НИС «Профессор Кизеветтер» RV “Professor Kizevetter”	Июль, август–сентябрь July, August–September	2029
2011	НИС «ТИНРО» / RV “TINRO”	Август / August	2985
2012	НИС «ТИНРО» / RV “TINRO”	Сентябрь / September	2292
2013	НИС «Профессор Кагановский» RV “Professor Kaganovsky”	Сентябрь / September	1551
2014	НИС «ТИНРО» / RV “TINRO”	Июнь–июль / June–July	717
2015	НИС «Профессор Кизеветтер» RV “Professor Kizevetter”	Июнь–июль / June–July	1322
2016	НИС «ТИНРО» / RV “TINRO”	Июнь–июль / June–July	817
2017	НИС «ТИНРО» / RV “TINRO”	Июнь–август / June–August	3554
2018	НИС «ТИНРО» / RV “TINRO”	Апрель–июль / April–July	1823

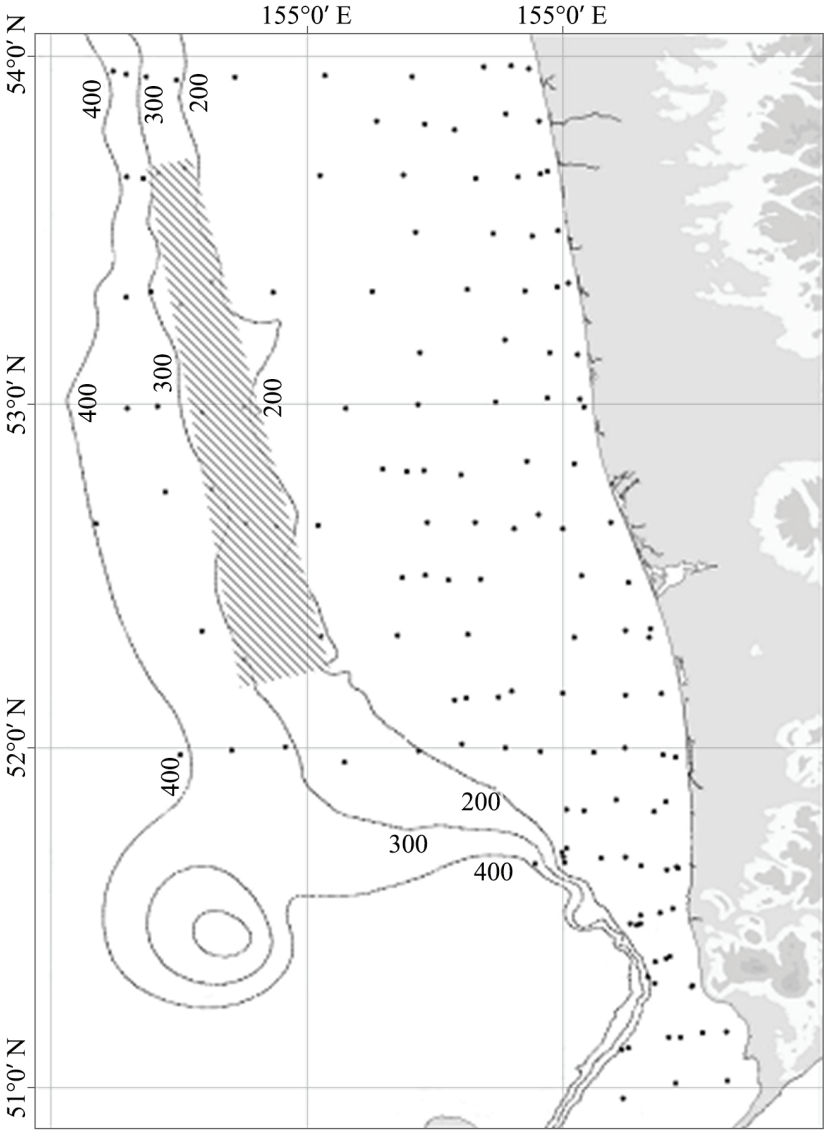

Рис. 4. Карта-схема расположения стандартного полигона в Камчатско-Курильской подзоне
Fig. 4. The schematic map of the distribution of standard ground within the Kamchatka-Kuril subzone

$$B_{t+1} = \frac{B_t^*}{1 + \frac{B_t^* - B_t}{B_t} \exp(-(\frac{4m}{K} - F_t))}, B_t^* = K - \frac{K^2}{4m} F_t.$$

В продукционной модели Шефера в качестве входной информации используются:

– вылов по годам промысла (2005–2017 гг.);

– индекс биомассы промыслового запаса (оценки биомассы промысловой части запаса по данным учетных донных траловых съемок в 2009–2018 гг. на стандартном полигоне);

– стандартизованные уловы на единицу промыслового усилия.

Предполагается, что наблюденные значения индекса биомассы промыслового запаса и стандартизованные уловы на единицу усилия отличаются от своих модельных аналогов на случайную величину, имеющую логнормальное распределение. Параметры модели оценивались из условия наилучшего приближения модели к данным наблюдений, в соответствии с допущениями относительно распределений ошибок. Целевая функция представляет собой логарифм функции правдоподобия:

$$Z = Z_I + Z_U \to \max,$$

$$Z_I = \sum_t \ln\left[\frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(\ln(q_1 B_t) - \ln(I_t))^2}{2\sigma_1^2})\right],$$

$$Z_a = \sum_t \ln\left[\frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(\ln(q_2 B_t) - \ln(U_t))^2}{2\sigma_2^2})\right],$$

где q_1, q_2 — оцениваемые коэффициенты пропорциональности, I_t — индекс биомассы промыслового запаса по данным учетных донных траловых съемок, U_t — стандартизованные уловы на единицу промыслового усилия в год t. Общеизвестная модель ASPIC (Prager, 1994) реализует этот алгоритм.

Выделение возрастных групп по размерной структуре. Для применения когортных моделей

динамики запаса необходима информация об уловах по возрастным группам. Выделение возрастных групп по размерной структуре осуществляли методом расщепления смеси распределений. При этом был сделан ряд предположений о росте северной креветки.

Приняли, что особи креветки одного возраста линяют одинаковое число раз в год.

Предположили, что размерный ряд креветки является смесью возрастных нормальных распределений вида:

$$\varphi_a(\mathrm{l}) = \frac{1}{\sigma(a)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(l-l(a))^2}{2(\sigma(a))^2}\right)$$

со средними размерами $l(a)$, зависящими от (модельного) условного возраста a по закону Берталанффи (Bertalanffy, 1938):

$$l(a) = L_\infty(1-\exp(-k(a-a_0)),$$

где L_∞, k, a_0 — оцениваемые параметры уравнения; и среднеквадратической ошибкой $\sigma(a)$, линейно зависящей от условного возраста:

$$\sigma(a) = \sigma_{\min} + \frac{l(a)-l(a_{\min})}{l(A)-l(a_{\min})}(\sigma_{\max}-\sigma_{\min}).$$

Здесь $a_{\min}$ (= 1) — минимальный условный возраст, A — число возрастных групп (или максимальный условный возраст), $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ — соответствующие им оцениваемые значения стандартных отклонений. Здесь под условным возрастом понимается порядковый номер возрастной группы (когорты).

Параметры L_∞, k, a_0, $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ оценивались для каждого из двух периодов: 2005–2006 гг., когда сбор материалов о размерном составе проводился в октябре–ноябре, и 2007–2018 гг.; массовые промеры осуществлялись в апреле–июне. Таким образом, предполагается, что с 2007 по 2018 гг. рост северной креветки подчинялся одному и тому же закону. Данные за 2005–2006 гг. описываются другим законом роста. При таком предположении отпадает проблема сопоставления возрастных когорт в разные годы, возникающая из-за межгодовой изменчивости указанных параметров.

Оценки параметров L_∞, k, a_0, $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ и численности возрастных групп n_{ja} (в возрасте a в году j) были найдены из условия максимума функции правдоподобия для мультиномиального распределения:

$$L = \sum_j \sum_i N_j(l_i, l_{i+1}) \log\left(P_{ji}\right) \to \max,$$

$$P_{ji} = \left(\frac{\sum_a n_{ja} p_{ia}}{\sum_a n_{ja}}\right), p_{ia} = \left[\Phi\left(\frac{l_{i+1}-l(a)}{\sigma(a)}\right) - \Phi\left(\frac{l_i - l(a)}{\sigma(a)}\right)\right],$$

где $N_j(l_i, l_{i+1})$ — численность экземпляров креветки в интервале (l_i, l_{i+1}) из эмпирического размерного ряда в j-м году, Y — число лет, а

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz$$ — функция Лапласа.

Число возрастных групп A определяли по байесовскому информационному критерию (BIC):

$$BIC = -2L_A + M_A \log(\sum_j N_j),$$

где L_A — оптимум целевой функции, а M_A — число параметров модели, соответствующее количеству возрастных групп, равному A. Была проведена серия расчетов при A = 4, 5, 6, 7, 8, 9. Оказалось, что значение BIC начинает возрастать при $A > 7$. При увеличении числа возрастных групп A с 7 до 8 значения параметров уравнения роста изменялись незначительно. Качественно картина возрастного состава не менялась, добавилась немногочисленная самая старшая возрастная группа. На основании этого мы сделали вывод, что число основных возрастных когорт в рассматриваемых размерных рядах северной креветки равно 7.

Кроме указанной выше линейной зависимости среднеквадратической ошибки от возраста, нами рассматривалась зависимость (см., например, Tanaka, Tanaka, 1990):

$$\sigma(a) = \sigma_0 \sqrt{1 + \frac{1}{2k}\left(1-\exp(-2ka)\right)}.$$

В последнем случае расчетные значения байесовского информационного критерия оказывались выше.

Когортная модель. Когортная модель «Синтез» (Ильин и др., 2014) относится к числу сравнительно простых статистических когортных моделей с сепарабельным представлением промысловой смертности, учитывает специфику рыбопромысловой статистики и позволяет получить детальное описание динамики возрастной структуры оцениваемого запаса. В основе лежит уравнение улова Баранова и экспоненциальный закон убыли численности. Алгоритм модели реализован в одноименной компьютерной программе, разработанной в КамчатНИРО.

В модели «Синтез» в качестве исходной информации для оценки запаса северной креветки используются:

– матрица вылова по возрастам и годам промысла (2005–2017 гг.);

– индекс биомассы общего и промыслового запаса (оценки биомассы запаса по данным учет-

ных донных траловых съемок в 2009–2018 гг. на стандартном полигоне);

– стандартизованные уловы на единицу промыслового усилия;

– среднемноголетняя масса северной креветки по возрастам;

– мгновенный коэффициент естественной смертности (МКЕС) принят равным 0,3 в год, одинаковый для всех возрастных групп.

Модель динамики функциональных групп. Модель типа CSA (Collie, Sissenwine, 1983; Collie, Kruse, 1998) занимает промежуточное положение между продукционной и когортной моделями. Используется в различных модификациях для оценки запасов беспозвоночных дальневосточных морей (Ильин, Иванов, 2015, 2018). Модель разрабатывалась, исходя из структуры имеющейся информации по запасу. Уравнения динамики численности функциональных групп имеют следующий вид:

$$N_{i,2} = p_1 N_{i-1,1} S_{i-1,1} + (1-p_2) N_{i-1,2} S_{i-1,2},$$
$$N_{i,3} = p_2 N_{i-1,2} S_{i-1,2} + N_{i-1,3} S_{i-1,3},$$
$$S_{i,j} = \exp(-Z_{i,j}),\ Z_{i,j} = M_{i,j} + F_{i,j},$$
$$j = 1,2,3; i = 1,2,...,n.$$

Здесь $N_{i,1}$, $N_{i,2}$, $N_{i,3}$ — численность функциональных групп в i-м году, т. е. перекрутов, рекрутов и промысловых особей соответственно, $S_{i,j}$ — коэффициент выживания, $M_{i,j}$ и $F_{i,j}$ — мгновенные коэффициенты естественной и промысловой смертности в j-й функциональной группе в i-м году, p_j — вероятность линьки в j-й функциональной группе, j = 1, 2, 3.

Были приняты следующие допущения:

1) Относительно указанных выше вероятностей предполагается, что они постоянны: $p_j = p$. Мгновенные коэффициенты естественной смертности также постоянны $M_{i,j} = M$.

2) Предполагается (Doubleday, 1976), что наблюденные уловы по функциональным группам $\hat{C}_{i,j}$ отличаются от модельных

$$C_{i,j} = N_{i,j} \frac{F_{i,j}}{Z_{i,j}} (1 - \exp(-Z_{i,j}))$$

на случайную логнормально распределенную величину:

$$\ln(\hat{C}_{i,j}) - \ln(C_{i,j}) = e^3_{i,j}, \mathrm{e}^3 \sim N(0, \sigma_3).$$

3) Предполагается, что наблюденные данные траловых съемок по индексу промыслового запаса $\hat{I}_{i,j}$ (3-й функциональной группы) отличаются от модельных

$$I_{i,3} = q_1 S^{\Delta} N_{i,3} \quad (1),$$

где Δ — время от начала года до проведения съемок (в долях года), на случайную величину с логнормальным распределением:

$$\ln(\hat{I}_{i,3}) - \ln(I_{i,3}) = e^1_{i,3}, e^1 \sim N(0, \sigma_1).$$

4) Предполагается, что наблюденные данные по уловам на единицу усилия $\hat{U}_{i,3}$ отличаются от модельных

$$U_{i,3} = q_2 S^{0.5} N_{i,3} \quad (2)$$

на случайную величину, имеющую логнормальное распределение:

$$\ln(\hat{U}_{i,3}) - \ln(U_{i,3}) = e^2_{i,3}, e^2 \sim N(0, \sigma_2),$$

В соотношениях (1) и (2) q_1 и q_2 — калибровочные коэффициенты.

Параметры указанной модели динамики функциональных групп оцениваются из условия наилучшего приближения к данным учетных траловых съемок и промысловой статистики, в соответствии с допущениями относительно распределений ошибок.

Целевая функция представляет собой логарифм функции правдоподобия:

$$L = L_I + L_U + L_C \to \max \quad (3),$$

где

$$L_I = \sum_i \ln\left[\frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(\hat{I}_{i,3}) - \ln(I_{i,3}))^2}{2\sigma_1^{\ 2}}\right)\right],$$

$$L_U = \sum_i \ln\left[\frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(\hat{U}_{i,3}) - \ln(U_{i,3}))^2}{2\sigma_2^{\ 2}}\right)\right],$$

$$L_C = \sum_{i,j} \ln\left[\frac{1}{\sigma_3\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(\hat{C}_{i,j}) - \ln(C_{i,j}))^2}{2\sigma_3^{\ 2}}\right)\right].$$

Оптимизация целевой функции (3) осуществлялась численными методами оптимизации: Левенберга–Марквардта, наискорейшего спуска, сопряженных градиентов Флетчера–Ривза (Базара, Шетти, 1982).

Входная информация для оценки запаса северной креветки по модели CSA следующая:

– вылова по функциональным группам и годам промысла (2005–2017 гг.);

– индекс биомассы промыслового запаса;

– стандартизованные уловы на единицу промыслового усилия;

– среднемноголетняя масса северной креветки по функциональным группам;

– мгновенный коэффициент естественной смертности (МКЕС) принят равным 0,3 в год, одинаковый для всех функциональных групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки параметров продукционной модели Шефера представлены в таблице 3.

Значения B_{msy} и F_{msy} составляют 11,59 тыс. т и 0,17 соответственно. Графики плотностей распределения оценок параметров модели и биологического ориентира F_{msy}, полученные с помощью параметрического бутстрепа, представлены на рис. 5.

Динамика биомассы промыслового запаса представлена на рисунке 6А. Короткий ряд данных и разнонаправленность индексов приводят к тому, что доверительные интервалы полученных значений модельных параметров и ретроспективных оценок запаса довольно велики. Оценка биомассы промыслового запаса северной креветки на начало 2018 г. по продукционной модели составляет

Таблица 3. Оценки параметров продукционной модели
Table 3. Estimates of the production model's parameters

Параметр / Parameter	Оценка / Estimates	CV
B_0, тыс. т (thous. t)	7,556	0,201
K, тыс. т (thous. t)	23,179	0,197
m, тыс. т (thous. t)	1,968	0,089
q_1	0,435	0,248
q_2	0,135	0,250

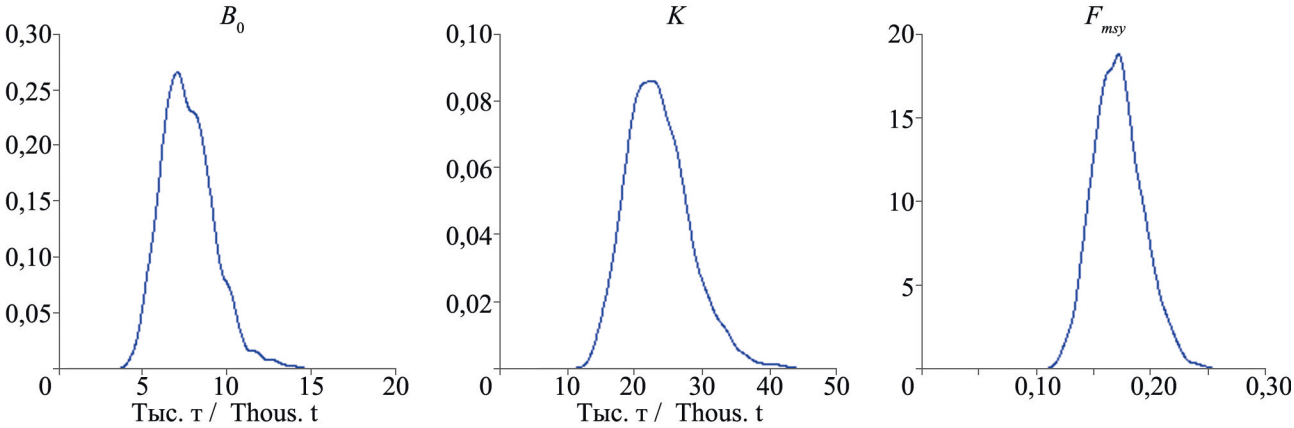

Рис. 5. Плотности распределения оценок параметров продукционной модели
Fig. 5. The distribution densities of the production model parameter estimates

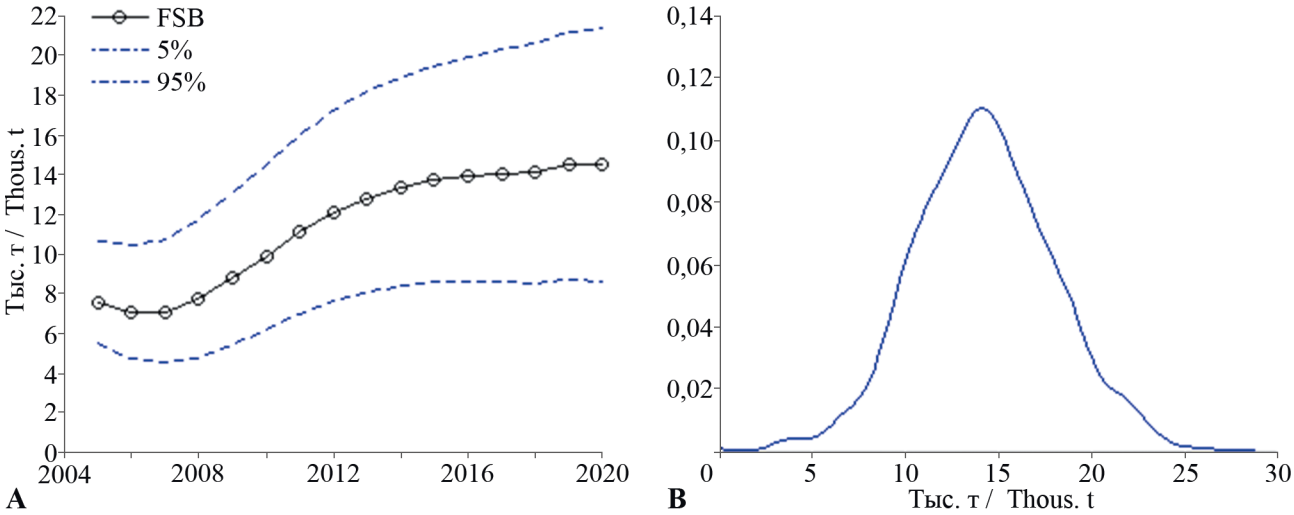

Рис. 6. Динамика биомассы промыслового запаса северной креветки по модели Шефера (А) и плотность распределения оценки промысловой биомассы на начало 2018 г. (В)
Fig. 6. The dynamics of the north shrimp commercial stock biomass in Schaefer's model (A) and the distribution density of the commercial biomass estimates for the beginning of 2018 (B)

14,1 тыс. т. Неопределенность в оценке терминальной биомассы иллюстрирует рисунок 6Б.

Динамика модельных и наблюдаемых значений индексов запаса представлена на рисунке 7. Итоговые оценки параметров метода расщепления смеси распределений представлены в таблице 4.

Отметим, что полученные нами значения L_∞ оказались близки к исторически максимальной наблюденной длине особи северной креветки — 148 мм.

Если предположить, что реальный возраст нулевого размера a_0 лежит в интервале от –1 до 0 и учесть, что в 2007–2018 гг. промеры проводились примерно в сроки нереста, то для периода 2007–2018 гг. разница между условным возрастом (т. е. номером возрастной группы) и реальным возрастом особей составит 1 год. Таким образом, возраст особей первой возрастной группы будет равен двум годам (2+). При этом модельная длина особей в возрасте 1 год будет равна 36,2 мм, что примерно соответствует минимальной наблюденной длине северной креветки — 32 мм. Как видно, наблюдается сдвиг на один год в оценках условного возраста нулевого размера для двух периодов. Учитывая, что в 2005–2006 гг. сроки работ сдвинуты на полгода позже, когда особи уже полиняли, можно предположить, что для периода 2005–2006 гг. особям условного возраста 1 год также будет соответствовать реальная возрастная группа (2+).

На рисунке 8 представлены модельные размерные ряды в сравнении с эмпирическими. Хорошо видно, что по весенним данным отчетливо выделяются первые две возрастные группы, которым соответствуют линейные размеры от 50 до 70 мм и от 70 до 90 мм.

На рисунке 9 представлены модельные распределения длины северной креветки для каждого возраста, нормированные к численности возрастных групп, в сравнении с наблюденными размерными рядами. Здесь выбран ряд лет, когда данные собирались весной. Пунктиром на графиках обозначен исходный ряд, серым цветом — модельный. Цветом выделены модельные распределения длины для основных возрастных групп. Веса, с которыми эти возрастные распределения длины входят в смесь распределений, образуют возрастной состав северной креветки в режиме мониторинга промысла. В некоторые годы возрастной состав совсем не очевидный. Например, можно заметить, что в исходном размерном ряду нет пиков, соответствующих возрастной группе 5+ (синий цвет).

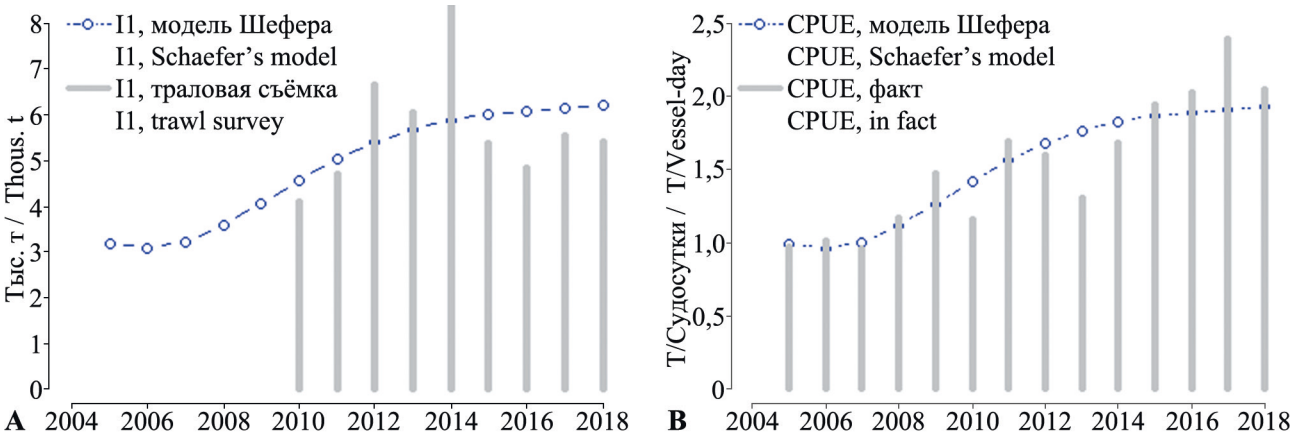

Рис. 7. Динамика индексов запаса — данные траловых учетных съемок о биомассе промысловой части запаса (A) и стандартизованный CPUE (B)
Fig. 7. The dynamics of the stock indices — the trawl surveys data on the commercial stock biomass (A) and the CPUE standardized (B)

Таблица 4. Значения модельных параметров в методе расщепления смеси распределений
Table 4. Values of model parameters in the method of mixture separation

Параметр Parameter	k, 1/год (year)	a_0, годы (years)	L_∞, мм (mm)	σ_{min}, мм (mm)	σ_{max}, мм (mm)
2005–2006 гг. (осень / Autumn)					
Оценка / Value	0,211	–2,11	152,1	5,08	4,04
CV	0,033	0,032	0,01	0,028	0,029
2007–2018 гг. (зима–весна / Winter–Spring)					
Оценка / Value	0,257	–1,11	146,1	3,8	5,3
CV	0,024	0,03	0,008	0,02	0,03

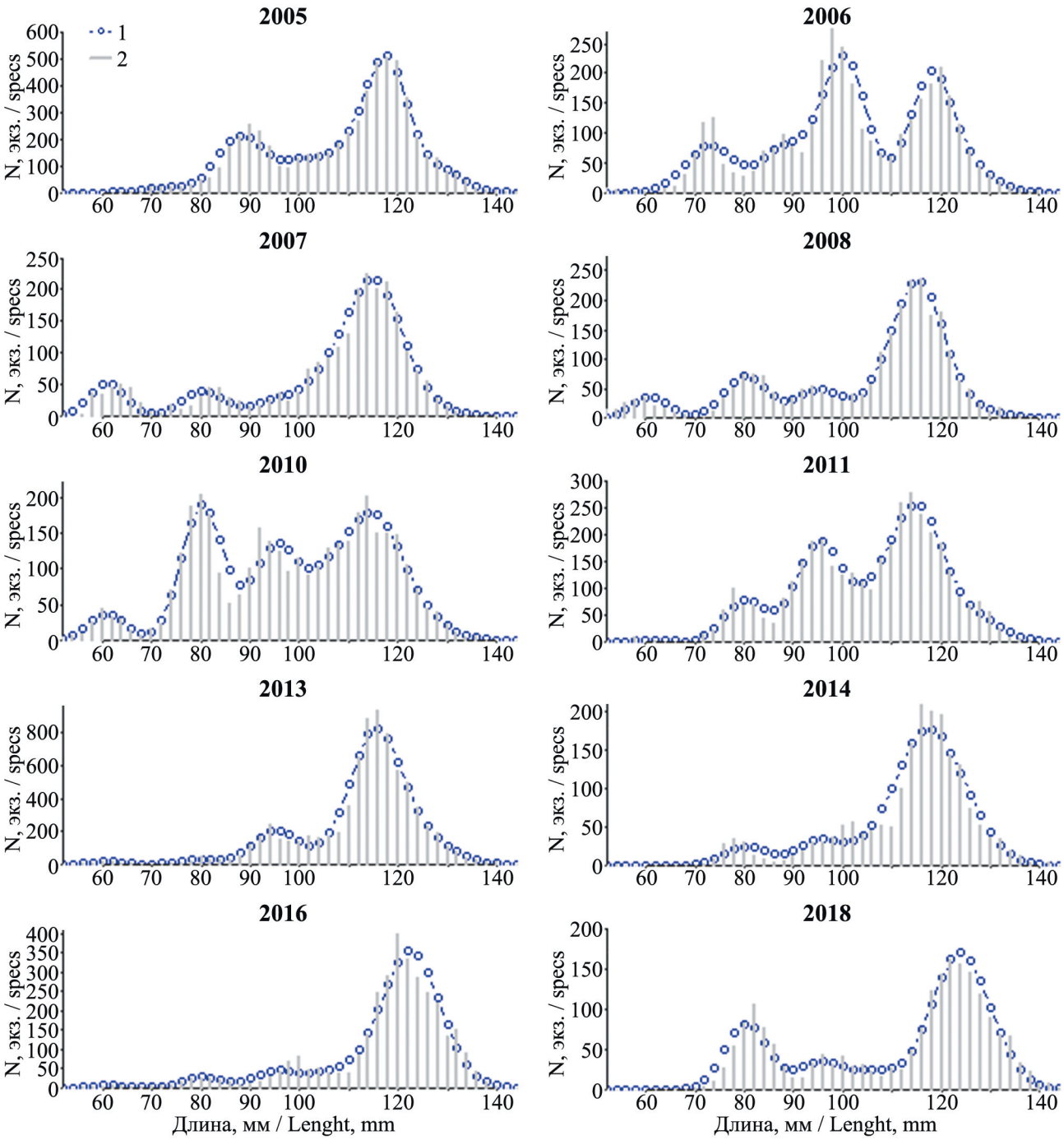

Рис. 8. Модельное (1) и эмпирическое (2) распределение длины на промысле северной креветки в 2005–2018 гг.
Fig. 8. Simulated (1) and empirical (2) distribution of the body length of north shrimp in the catches in 2005–2018

Соответствующий возрастной состав для 2007–2011 гг. приведен на рис. 10. По значениям численностей возрастных групп n_a, оцененных методом расщепления смеси распределений, была составлена матрица возрастного состава уловов по возрастам и годам промысла.

Используя полученные распределения длины и зависимость «длина–масса», для всех возрастных групп определили среднюю массу по следующей формуле:

$$W(a) = \int W(l)\varphi_a(l)dl,$$

$$\varphi_a(l) = \frac{1}{\sigma(a)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(l-l(a))^2}{2(\sigma(a))^2}\right),$$

$$W(l) = 0,000002 \cdot l^{3.3477}.$$

Долю промысловых особей (≥ 90 мм) в каждой возрастной группе определили интегрированием распределения длины в интервале от 90 мм до +∞. Результаты сведены в таблицу 5.

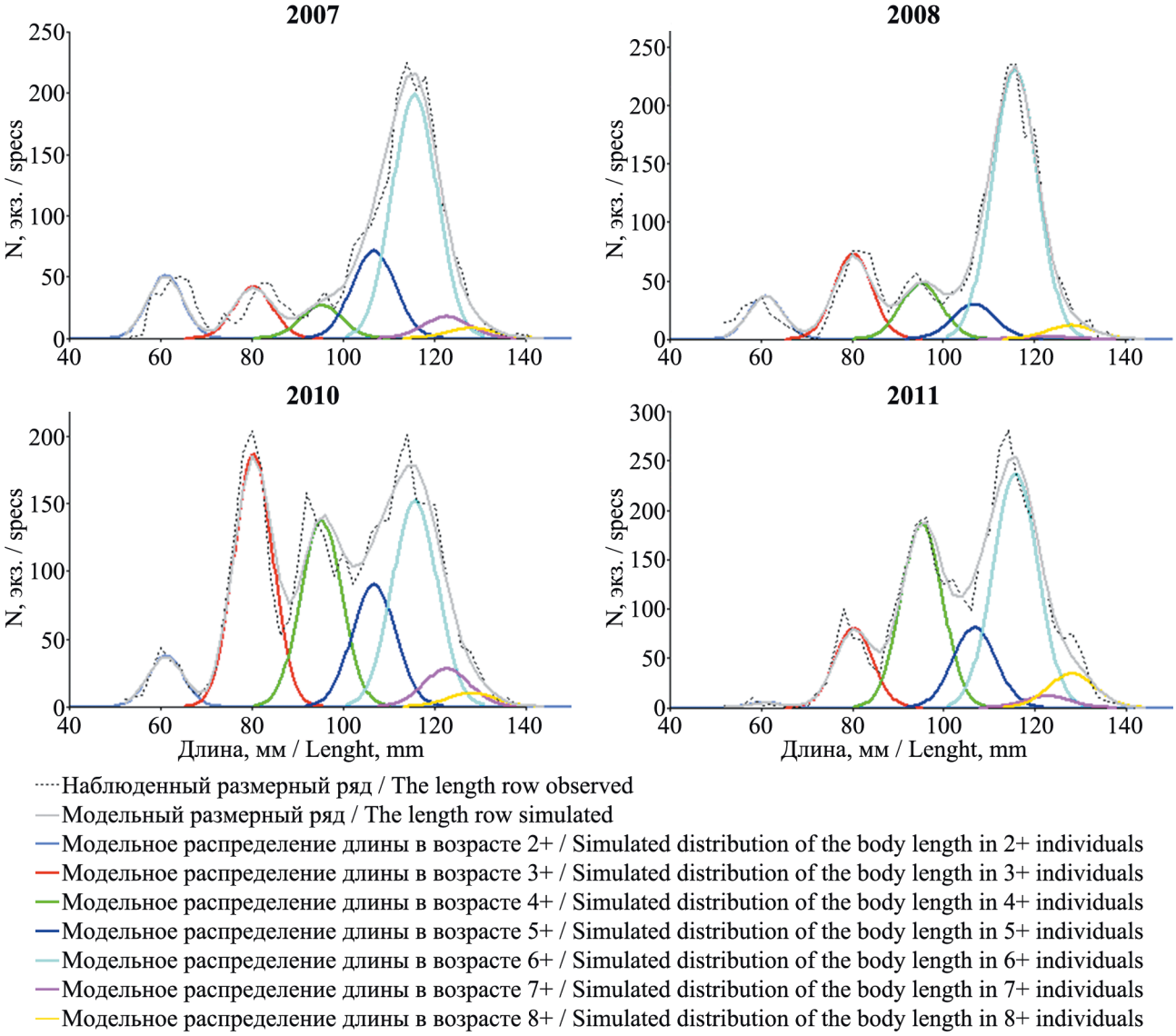

Рис. 9. Распределение длины на промысле северной креветки в 2007–2011 гг.
Fig. 9. The distribution of the north shrimp length in the catches in 2007–2011

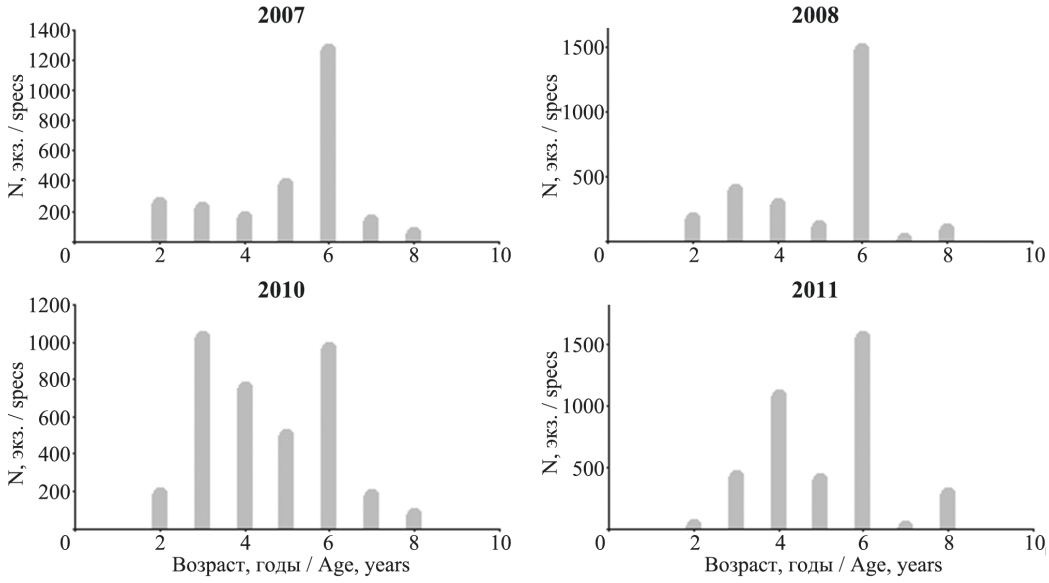

Рис. 10. Возрастной состав уловов северной креветки в 2007–2011 гг.
Fig. 10. The age composition of the north shrimp catches in 2007–2011

Полученные оценки средней длины северной креветки по возрастам мы сравнили с результатами, полученными другими методами (таблица 6). Они были взяты из работы Михайловой и Гайдаева (Михайлова, Гайдаев, 2013). Метод Хардинга (Harding, 1949) применялся на весенних данных, метод Броневского–Сахапова (Броневский, Сахапов, 1991) — на осенних данных, а метод Шеперда (Shepherd, 1987) — на смешанных весенне-осенних данных. Первые два метода требуют задания числа моделируемых возрастных когорт. Однако в указанной работе отсутствует обоснование того, почему задается число возрастных групп, равное шести.

Средние размеры первых трех возрастных групп по нашим результатам на весенних данных и по методу Хардинга сопоставимы, в более старших возрастах появляются различия. Средние размеры первых трех возрастных групп по нашим результатам на осенних данных вполне соответствуют средним размерам возрастных групп 3+…5+ по методу Броневского–Сахапова. Здесь авторы приписывают этим размерам возраст на год больше, чем мы. В более старших возрастных группах также заметны различия. Надо отметить, что метод Броневского–Сахапова является методом расщепления смеси распределений, но средние значения и дисперсии этих распределений не подчинены какой-либо зависимости. Значительные расхождения в оценках средней длины по возрастам по представленному в настоящей работе методу и методу Шеперда объясняются еще и тем, что последний применялся на осредненных весенне-осенних данных. Кроме того, диапазон поиска для параметра роста k при расчетах методом Шеперда, по нашему мнению, был выбран слишком узким: от 0 до 0,25.

Так как две младшие когорты легко выделяются в размерном ряду, а более старших особей приближенно (в возрасте 4+ доля особей промыслового размера составляет 88%) можно отнести к промысловому запасу, разумным выглядит применение для оценки запаса северной креветки модели динамики функциональных групп типа CSA. Так, по результатам весенних промеров, с учетом разброса длины, можно приближенно выделить три функциональные группы северной креветки: перекруты (до 70 мм), рекруты (70–90 мм), промысловый запас (≥ 90 мм). Состав уловов по функциональным группам (в %) легко оце-

Таблица 5. Средняя длина, средняя масса и доля промысловых особей по возрастным группам
Table 5. Average length, weight and part of commercial individuals by age groups

Возраст, годы / Age, years	2	3	4	5	6	7	8
2005–2006 (осень / Autumn)							
Средняя длина, мм Average length, mm	73,21	88,22	100,39	110,24	118,22	124,69	129,93
Средняя масса, г Average weight, g	3,56	6,60	10,13	13,83	17,46	20,85	23,92
Доля промысловых особей Part of commercial individuals	0,00	0,36	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
2007–2018 (зима–весна / Winter–Spring)							
Средняя длина, мм Average length, mm	61,22	80,46	95,34	106,84	115,74	122,62	127,94
Средняя масса, г Average weight, g	1,95	4,84	8,53	12,48	16,30	19,77	22,78
Доля промысловых особей Part of commercial individuals	0,00	0,01	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 6. Средняя длина (мм) северной креветки по возрастным группам, рассчитанная разными методами (Михайлова, Гайдаев, 2013)
Table 6. Average length (mm) of north shrimp by age groups, recalculated by different methods (Михайлова, Гайдаев, 2013)

Возраст, годы / Age, years	2	3	4	5	6	7	8
Метод Шеперда (по данным за 2005–2011 гг.) Shepherd's method (on the data for 2005–2011)	–	75,18	93,08	107,45	119,01	128,3	135,77
Метод Броневского и Сахапова (по данным за 1998–2001 гг.) Method by Bronevsky and Sakhapov (on the data for 1998–2001)	44,5	71,95	86,38	100,73	115,15	129,35	–
Метод Хардинга (по данным за 2008 г.) Harding's method (on the data for 2008)	60	80	95	110	120	127	–

нить по размерному ряду, без выделения возрастных групп. Не вызывает проблем и определение средней массы особей указанных функциональных групп по годам. Использование модели динамики функциональных групп типа CSA целесообразнее еще и потому, что избавляет от влияния ошибок определения возраста на оценку запаса.

На рисунке 11 представлены некоторые результаты расчетов по когортной модели — ретроспективная динамика параметров запаса и терминальное распределение численности по возрастным группам. Вероятностные характеристики полученных оценок были определены с помощью процедуры параметрического бутстрепа.

Модель «Синтез» оценивает общую биомассу запаса северной креветки в возрасте от 2 до 8 лет на начало 2018 г. в 18,2 тыс. т, промыслового — 11,1 тыс. т. В целом, по нашим оценкам, в последние годы общий запас северной креветки стабилизировался на уровне 17–18 тыс. т (рис. 11A). Снижение (рис. 11B) промысловой биомассы (≥ 90 мм) в ближайшее время сменится ростом, в связи с появлением поколения 2015 г. (рис. 7, 11D, 11E). Плотности распределения терминальных оценок общей и промысловой биомассы представлены на рисунке 12. Из результатов видно, что разброс оценок существенно уже, чем в продукционной модели.

Похожую ретроспективную динамику параметров запаса и плотность распределения оценки терминальной промысловой биомассы демонстрируют результаты расчетов по модели динамики функциональных групп (рис. 13). Доверительные интервалы оценок по модели CSA оценивались с помощью процедуры параметрического бутстрепа.

Как видно, терминальные оценки запаса по моделям «Синтез» и CSA довольно близки. Модель CSA оценивает биомассу общего запаса северной креветки (длиной более 50 мм) на начало 2018 г. в 17,7 тыс. т, промыслового — 12,8 тыс. т. По нашим оценкам, кратковременное снижение промысловой биомассы в ближайшее время сменится ростом, в связи с высокой численностью рекрутов в 2018 г. (рис. 12E). Наблюденные значения индексов промыслового запаса северной креветки вполне соответствуют своим модельным аналогам (рис. 14).

По запасу северной креветки у Юго-Восточной Камчатки, как и по некоторым приоритетным видам крабов и крабоидов, КамчатНИРО дает вероятностный прогноз состояния промыслового запаса и величины возможного вылова. Результатом вероятностного прогноза являются не точечные оценки, а распределения прогнозных оценок запаса и возможного вылова, полученные в ходе стохастических экспериментов.

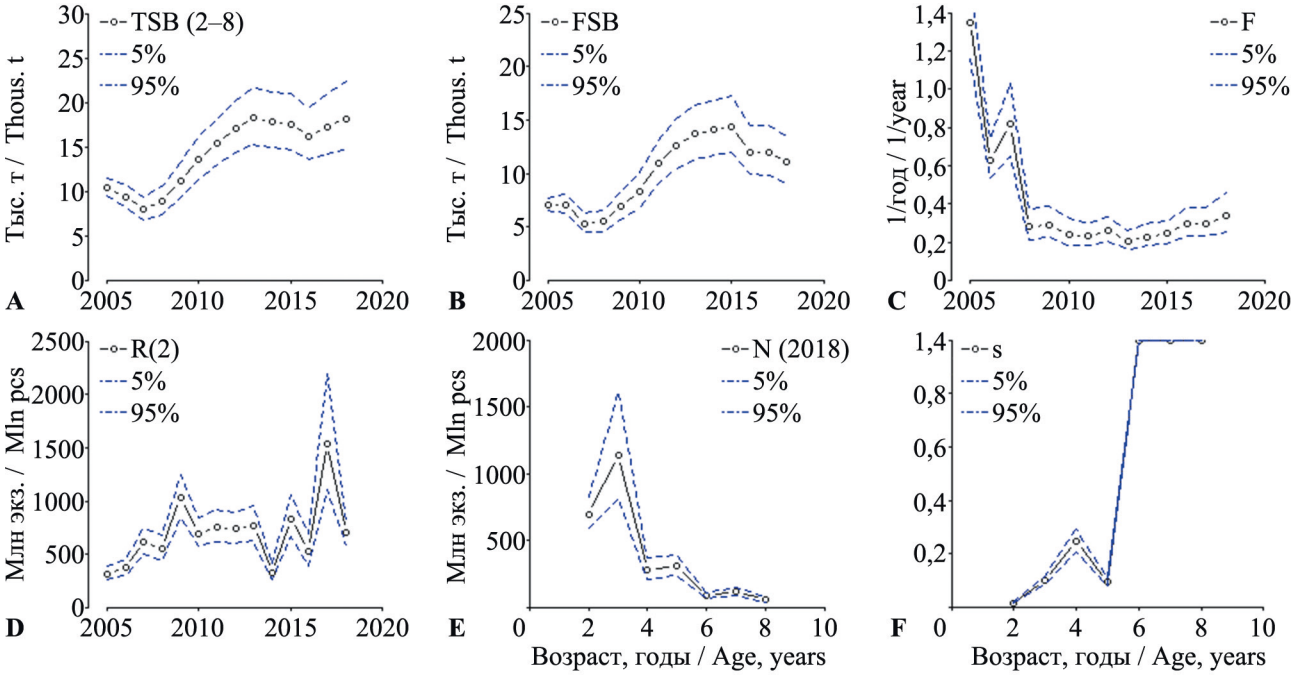

Рис. 11. Динамика запаса северной креветки по когортной модели: A — общая биомасса (2+…8+), B — промысловая биомасса (≥ 90 мм), C — мгновенные коэффициенты промысловой смертности, D — пополнение в возрасте 2 года, E — терминальная численность на начало 2018 г., F — коэффициенты селективности
Fig. 11. The dynamics of the north shrimp stock in the cohort model: A – the total biomass (2+…8+), B – the commercial biomass (≥ 90 mm), C – the instantaneous (fishing) mortality coefficient, D – the recruitment of the 2 year old individuals, E – the final stock by the beginning of 2018, F – selectivity coefficients

Для прогнозирования величины возможного вылова в настоящее время необходимым является построение зонального правила регулирования промысла (ПРП) северной креветки. Зональное ПРП — это формализованное правило принятия решений по регулированию рыболовства с учетом ориентиров управления и текущего состояния запасов (Бабаян, 2000), которое способствует достижению долговременных целей промысла северной креветки, таких как стабилизация уловов, высокий долгосрочный вылов.

В международной практике в качестве целевого ориентира по биомассе B_{tr} довольно часто выбирается B_{msy}. Для северной креветки эта величина составляет 11,59 тыс. т по биомассе промысловой части запаса. По продукционной модели Шефера значение ориентира F_{msy}, с учетом неопределенности, составило $0{,}17 \times \exp(-1{,}645 \times SE) = 0{,}138$, или 13,8%.

Как «заменитель» B_{msy}, можно использовать среднее значение биомассы промыслового запаса за период времени, когда запас устойчиво находил-

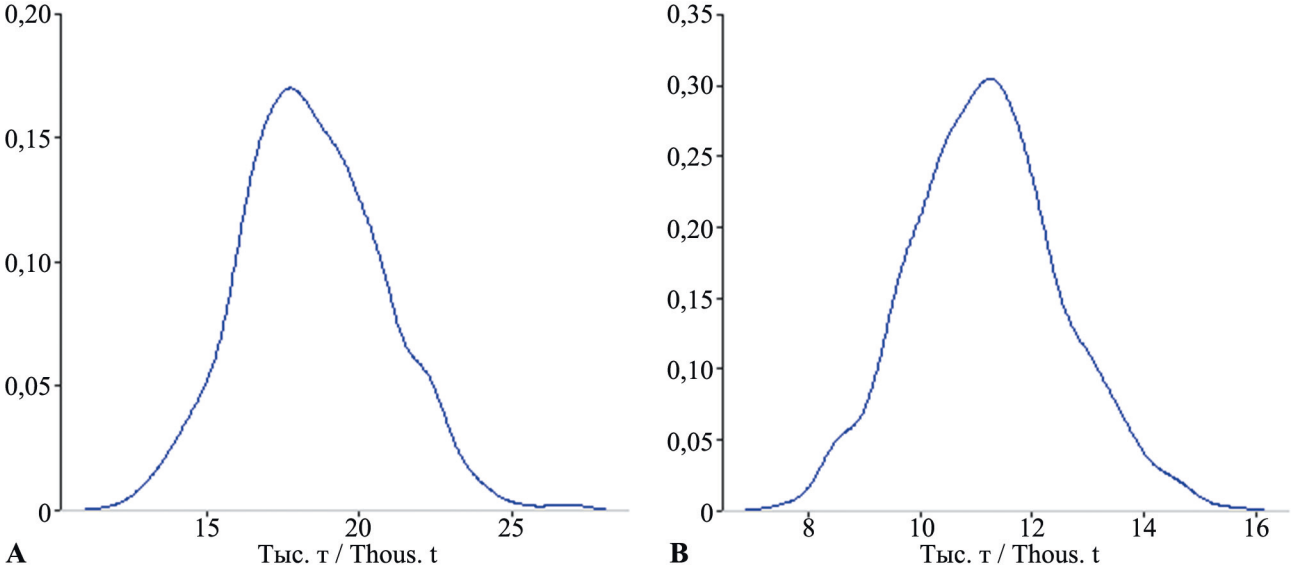

Рис. 12. Плотности распределения оценок общей (A) и промысловой (B) биомассы северной креветки на начало 2018 г.
Fig. 12. The distribution density of the north shrimp total (A) and commercial (B) biomass values by the beginning of 2018

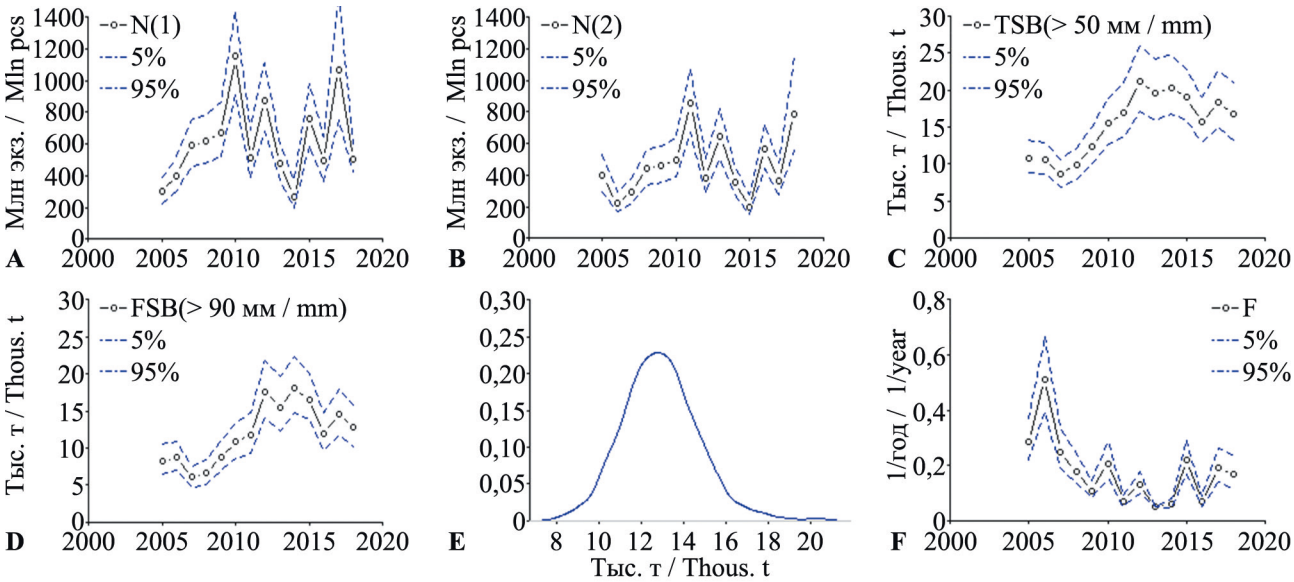

Рис. 13. Динамика запаса северной креветки по модели CSA: A — численность перекрутов, B — численность рекрутов, C — общая биомасса (≥ 50 мм), D — промысловая биомасса (≥ 90 мм), E — плотность распределения промысловой биомассы на начало 2018 г., F — коэффициенты промысловой смертности
Fig. 13. The north shrimp stock dynamics in the model CSA: A – the number of pre-recruits, B – the number of recruits, C – the total biomass (≥ 50 mm), D – the commercial biomass (≥ 90 mm), E – the distribution density of the commercial biomass by the beginning of 2018, F – the fishing mortality coefficients

ся на достаточно высоком уровне, подвергаясь при этом промысловой нагрузке, экспертно сравнимой с F_{msy} (Баканев, 2016; Report.., 2012). При этом средняя доля изъятия от промысловой биомассы при стабильном достаточно высоком уровне запаса может быть установлена в качестве целевого ориентира по эксплуатации, как «заменитель» F_{msy}. Среднее значение биомассы промыслового запаса при стабильно достаточно высоком состоянии (т. е. в последние 8 лет) по модели «Синтез» — 12,59 тыс. т, по модели Шефера — 13,11 тыс. т, по модели CSA — 14,67 тыс. т. Среднее изъятие за этот период по модели «Синтез» составило 11,9%, по модели Шефера — 11,3%, по модели CSA — 10,4%. Ранее установленный экспертно ориентир по промысловому изъятию составлял 15% от биомассы промысловой части запаса.

Определение величины B_{lim} как доли (20–30%) от величины девственного неэксплуатируемого запаса (параметр K, табл. 3) достаточно часто используется при разработке правил регулирования промысла морских гидробионтов (Reference.., 1993). Например, в качестве B_{lim} используется значение $0{,}25K$ или $0{,}5B_{msy}$. Для северной креветки по модели Шефера оно составляет 5,8 (с учетом неопределенности — $5{,}8 \times \exp(-1{,}645 \times SE) = 8{,}02$) тыс. т, аналог этого ориентира $B_{25\%\mathrm{Bvir}}$ по модели «Синтез» составляет 6,48 (8,1) тыс. т.

Наименьшее значение биомассы промысловой части запаса B_{loss} по данным учетных донных траловых съемок в 2009–2018 гг. с учетом коэффициента пропорциональности q составляет 9,35 тыс. т, по модели Шефера — 7,09 (с учетом неопределенности 10,5 тыс. т), по модели «Синтез» — 5,33 (6,29 тыс. т), по модели CSA — 5,98 (7,71) тыс. т.

Для определения ориентиров по биомассе можно использовать метод перцентилей (Буяновский, 2012; Koeller et al., 2011) на данных учетных донных траловых съемок в 2009–2018 гг. с учетом коэффициента пропорциональности q_1 (табл. 3). Согласно этому методу, 1-я квартиль эмпирического распределения промысловой биомассы может служить граничным ориентиром B_{lim}, 3-я квартиль — целевым B_{tr}. Метод перцентилей дает следующие оценки ориентиров по биомассе промысловой части запаса: B_{tr} = 13,56 тыс. т; B_{lim} = 10,94 тыс. т.

Исходя из вышесказанного, целевой ориентир по биомассе промыслового запаса B_{tr} целесообразно установить в диапазоне от 11,59 до 14,67 тыс. т, целевой ориентир по доле изъятия F_{tr} — от 10,4 до 13,8%, а граничный ориентир B_{lim} — в интервале от 5,33 до 10,94 тыс. т.

Вероятностный прогноз запаса на два года вперед осуществлялся в рамках метода параметрического бутстрепа при следующих предположениях:

– прогнозные значения МКЕС и среднемноголетней средней массы северной креветки по возрастам и функциональным группам те же, что и в ретроспективе;

– коэффициент промысловой смертности в 2019 г. соответствует ОДУ на 2019 г., равному 1,800 тыс. т;

– в качестве пополнения запаса на прогнозный период принимали среднемноголетнюю численность пополнения северной креветки;

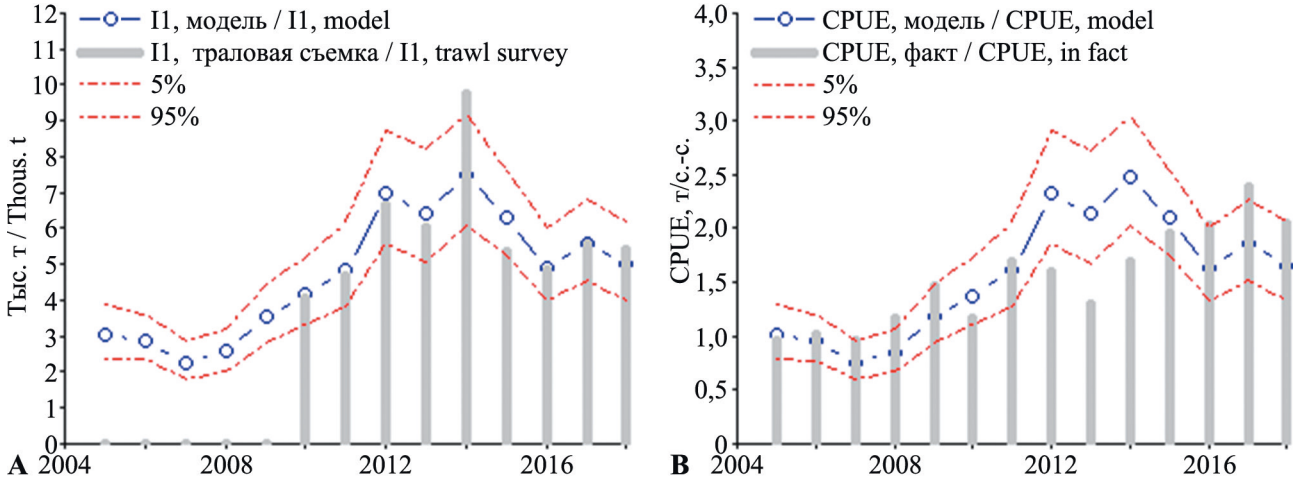

Рис. 14. Динамика индексов запаса: данные траловых учетных съемок о биомассе промысловой части запаса (A) и стандартизованный улов на единицу промыслового усилия (B)
Fig. 14. The dynamics of the stock indices: the trawl surveys data on the commercial stock biomass (A) and standardized catch per a unit of fishing effort (B)

– доля изъятия на 2020 г. определена в соответствии с зональным ПРП при B_{lim} = 6,29 тыс. т, B_{tr} = 11,59 тыс. т, F_{tr} = 13,8%. Модельная траектория промыслового запаса северной креветки и зональное ПРП представлены на рис. 15. Видно, что в 2007–2008 гг. чрезмерная эксплуатация запаса привела к его падению ниже граничного ориентира B_{lim}. В 2009–2012 гг. происходило восстановление запаса до уровня целевого ориентира B_{tr}. В 2012–2017 гг. запас северной креветки находился в зоне безопасной эксплуатации. В 2018 г. наблюдалось незначительное снижение промыслового запаса ниже целевого ориентира.

В качестве стартовых значений для прогноза использовались модельные оценки состояния запаса на начало терминального года. По модельным уравнениям оценивалась величина запаса на два года вперед. В итоге мы получили плотности распределения прогнозных оценок промысловой биомассы и возможного вылова северной креветки на 2020 г. по трем моделям. Характеристики этих распределений приведены в таблице 7. Как видно, прогнозные медианные оценки запаса и возможного вылова довольно близки по всем моделям. Вероятность того, что биомасса промыслового запаса в 2020 г. упадет ниже целевого ориентира B_{tr}, по продукционной модели оценивается в 24%, по модели «Синтез» — 4,9%, по модели CSA — 5,6%. Риск того, что биомасса промыслового запаса в 2020 г. окажется ниже граничного ориентира B_{lim} по продукционной модели оценивается в 3%, по моделям «Синтез» и CSA — 0%. Результаты моделирования подтверждают данные прямых наблюдений о хорошем состоянии запаса северной креветки у Юго-Западной Камчатки в последние годы и говорят о том, что рекомендуемая величина вылова этого ценного вида биоресурсов может быть увеличена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При некоторых предположениях относительно закона роста методом расщепления смеси распределений был определен возрастной состав северной креветки по ее размерной структуре. Приме-

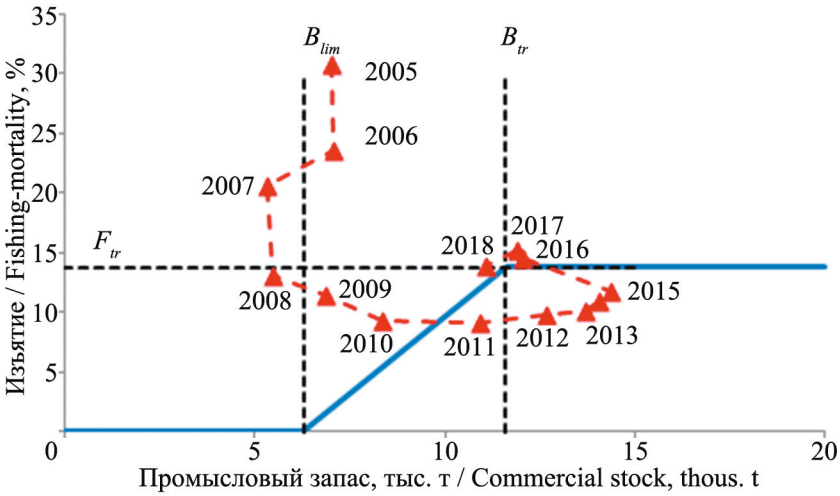

Рис. 15. Зональное ПРП, ретроспективная динамика промысловой биомассы и доли изъятия по когортной модели
Fig. 15. The zonal harvest control rule (HCR) and the retrospective dynamics of the commercial biomass in the cohort model

Таблица 7. Статистические характеристики оценок промысловой биомассы северной креветки на 2020 г.
Table 7. Statistical characteristics of the estimates of commercial biomass of north shrimp for 2020

	5%	25%	50%	75%	95%	Mean	SE
Продукционная модель Шефера / Schaefer's production model							
FSB, тыс. т (thous. t)	7,667	11,661	14,24	17,087	21,535	14,34	4,222
Возможный вылов, тыс. т Possible catch, thous. t	0,275	1,609	1,965	2,358	2,972	1,873	0,751
Когортная модель «Синтез» / Cohort model "Synthesis"							
FSB, тыс. т (thous. t)	11,653	13,610	15,196	16,810	19,563	15,330	2,406
Возможный вылов, тыс. т Possible catch, thous. t	1,608	1,879	2,097	2,319	2,700	2,106	0,356
Модель динамики функциональных групп / Model of CSA functional groups dynamics							
FSB, тыс. т (thous. t)	11,47	13,33	14,81	16,27	19,28	14,97	2,38
Возможный вылов, тыс. т Possible catch, thous. t	1,545	1,839	2,044	2,245	2,661	2,053	0,356

нение байесовского информационного критерия показало, что число основных (по численности) возрастных групп в исследованных размерных рядах северной креветки равно 7.

Определены средняя длина, средняя масса и доля особей промыслового размера северной креветки по возрастным группам. Результаты говорят о том, что для оценки состояния запаса северной креветки у Юго-Западной Камчатки целесообразным является применение модели CSA на весенних данных о размерной структуре.

Оценено текущее состояние запаса северной креветки у Юго-Западной Камчатки. На основе полученных ретроспективных оценок выполнен вероятностный прогноз состояния запаса и возможного вылова на 2020 г. Результаты моделирования подтверждают данные прямых наблюдений о хорошем состоянии запаса северной креветки у Юго-Западной Камчатки в последние годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). Анализ и рекомендации по применению. М.: ВНИРО. 192 с.

Базара М., Шетти К. 1982. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. М.: Мир. 583 с.

Баканев С.В. 2016. Методы оценки ориентиров управления запасом камчатского краба в Баренцевом море // Тр. ВНИРО. Т. 161. С. 16–26.

Броневский А.М., Сахапов Э.И. 1991. Метод разделения смеси распределений в исследовании популяции животных. Владивосток: ИБМ ДВО РАН. 18 с. Деп. в ВИНИТИ. № 4866-В91.

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

Иванов Б.Г. 2004. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 2. Метод. пособие по промыслово-биологическим исследованиям морских креветок (съемки запасов и полевые анализы). М.: ВНИРО. 110 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 // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 50. С. 27–33.

Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. 2014. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточнокамчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // Тр. ВНИРО. Т. 151. С. 62–74.

Максименко В.П., Лысенко В.Н. 2002. Оценка промыслового запаса и возможного вылова синего краба северо-восточной части Охотского моря методом виртуально-популяционного анализа // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 6. С. 131–134.

Михайлова О.Г., Гайдаев В.Э. 2013. Новые данные о возрасте северной креветки *Pandalus borealis* у берегов Юго-Западной Камчатки // Изв. ТИНРО. Т. 174. С. 173–181.

Михеев А.А. 2011. Возрастная детерминация размерного состава улова на основе разделения смеси вероятностных распределений // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 22. С. 79–92.

Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К., Первеева Е.Р., Абрамова Е.В., Крутченко А.А. 2006. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 114 с.

Соколов В.И. 1999. Мировой промысел креветок. Перспективы России // Рыбное хозяйство. № 6. С. 24–27.

Basson M., Rosenberg A., Beddington J.R. 1988. The accuracy and reliability of two new methods for estimating growth parameters from length-frequency data // J. Cons. Int. Explor. Mer. Vol. 44. P. 277–285.

Bertalanffy L. von. 1938. A Quantitative Theory Of Organic Growth // Human Biology. Vol. 10. № 1. P. 181–213.

Bhattacharya C.G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into gaussian components. Biometrics. Vol. 23. P. 115–135.

Collie J.S., Kruse G.H. 1998. Estimating king crab (*Paralithodes camtschaticus*) abundance from commercial catch and research survey data. In: Jamieson G.S., Campbell A. (Eds.), Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. Vol. 125. P. 73–83.

Collie J.S., Sissenwine M.P. 1983. Estimating population size from relative abundance data measured with error. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 40. P. 1871–1879.

Doubleday W.G. 1976. A Least Squares Approach to analyzing catch at age data // ICNAF, Res. Bull. № 12. P. 69–81.

Fletcher R.I. 1978.Time-dependent solutions and efficient parameters for stock production models // U.S. Fish Bull. Vol. 76. P. 377–388.

Gayanilo F.C., Jr., Sparre P., Pauly D. 2005. FAO-ICLARM stock assessment tools II. User's guide. Computerized Information Series. Fisheries. № 8. Rome: FAO. 168 p.

Harding J.P. 1949. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions // J. Mar. Biol. Ass. U. K. Vol. 28. № 1. P. 141–153.

Koeller P., Fuentes-Yaco C., Covey M., King M. 2011. The last traffic light on the Scotian Shelf: shrimp 2009–2010 / Research document (Canadian Science Advisory Secretariat). 2011/061. 84 p.

McCullagh P., Nelder J.A. 1989. Generalized Linear Models. 2nd Edition, Chapman and Hall, London. 532 p.

Prager M.H. 1994. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model. Fishery Bulletin. № 92. P. 374–389.

Reference points for fisheries management: their potential application to straddling and highly migratory resources. 1993. FAO Fish. Circ. 864. 52 p.

Report of the workshop to finalize the ICES data-limited stock (DLS) methodologies documentation in an operational form for the 2013 advice season and to make recommendations on target categories for data limited stocks (WKLIFE2). 2012. ICES CM 2012/ACOM:79.

Schaefer M.B. 1954. Some aspects of dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries // Int. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. Vol. 1. P. 27–56.

Schaefer M.B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean // Int. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. Vol. 2. P. 247–268.

Schnute J., Fournier D. 1980. A new approach to length frequency analysis: growth structure // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 37. P. 1337–1351.

Shepherd J.G. 1987. A weakly parametric method for the analysis of length composition data / Length-based methods in fisheries research. Manila, Philippines; Safat, Kuwait: ICLARM; KISR. P. 113–120.

Tanaka E., Tanaka S. 1990. A method for estimating age-composition from length-frequency by using stochastic growth equation // Nippon Suisan Gakkaishi. Vol. 56 (8). P. 1209–1218.

Vasilets P.M. 2015. FMS analyst – computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. DOI: 10.13140/RG.2.1.5186.0962.

Zheng J., Kruse J.H., Murphy M.C. 1998. A length-based approach to estimate population abundance of Tanner crab, *Chionoecetes bairdi*, in Bristol Bay, Alaska // In: Proceeding of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Edited by G.S. Jamieson and A. Campbell. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. Vol. 125. P. 97–105.

REFERENCES

Babayan V.K. *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]. Moscow: VNIRO, 2000, 192 p.

Bazara M., Shetti K. *Nelinejnoe programmirovanie. Teorija i algoritmy* [Nonlinear Programming. Theory and Algorithms]. Moscow: Mir, 1982, 583 p.

Bakanev S.V. Estimation methods for biological reference points of king crab stock in the Barents Sea. *Trudy VNIRO*, 2016, vol. 161, pp.16–26. (In Russian)

Bronevskiy A.M., Sakhapov E.I. *Metod razdeleniya smesi raspredeleniy v issledovanii populyatsii zhivotnykh* [A method of separating a mixture of distributions in an animal population study]. Vladivostok: IBM DVO RAN, 1991, 18 s. Dep. in VINITI. № 4866-V91.

Buyanovsky A.I. *Prognoz potentsial'nogo vylova pribrezhnykh bespozvonochnykh pri zatrudnenii s otsenkoj zapasa* [Forecast of potential catch for coastal invertebrates: data-poor cases]. Moscow: VNIRO, 2012, 222 p.

Ivanov B.G. *Izucheniye ekosistem rybokhozyaystvennykh vodoyemov, sbor i obrabotka dannykh o vodnykh biologicheskikh resursakh, tekhnika i tekhnologiya ikh dobychi i pererabotki. Vyp. 2. Metod. posobiye po promyslovo-biologicheskim issledovaniyam morskikh krevetok (s"yemki zapasov i polevyye analizy)* [Studying ecosystems of fishery water bodies, collecting and processing data on aquatic biological resources, equipment and technology for their extraction and processing. Issue 2. The method. manual for com-

mercial and biological research of sea shrimp (stock surveys and field analyzes)]. Moscow: VNIRO, 2004, 110 p.

Ilyin O.I., Ivanov P.Y. On one model approach to stock assessment for red king crab *Paralithodes camtschaticus* on the shelf of West Kamchatka. *Izvestiya TINRO*, 2015, vol. 182, pp. 38–47. (In Russian with English abstract)

Ilyin O.I., Ivanov P.Y. To the stock abundance assessment of tanner crab in the Kamchatka-Kurile subzone. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2018, vol. 50, pp. 27–33. (In Russian with English abstract)

Ilin O.I., Sergeeva N.P., Varkentin A.I. East-Kamchatka Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) stock and TAC assessment based on the precautionary approach. *Trudy VNIRO*, 2014, vol. 151, pp. 62–74. (In Russian)

Maksimenko V.P., Lysenko V.N. Virtual-population analytic assessments of fishery stock abundance and possible landings of blue crab in the north-east part of the Sea of Okhotsk. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2002, vol. 6, pp. 131–134. (In Russian)

Mikhailova O.G., Gaydaev V.E. New data on age of northern shrimp *Pandalus borealis* at the southwest coast of Kamchatka. *Izvestiya TINRO,* 2013, vol. 175, pp. 173–181. (In Russian with English abstract)

Mikheyev A.A. Age recognition in catch-at-size composition base on mixture separation of probability distributions. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2011, vol. 22, pp. 79–92. (In Russian)

Nizyaev S.A., Bukin S.D., Klitin A.K., Perveeva E.R., Abramova E.V., Krutchenko A.A. *Posobie po izucheniyu promyslovyh rakoobraznyh dal'nevostochnyh morej Rossii* [Manual to study commercial crustaceans from the Far East seas of Russia]. Yuzhno-Sahalinsk: SakhNIRO, 2006, 114 p.

Sokolov V.I. World shrimp fishing. Prospects for Russia. *Rybnoe hozyajstvo,* 1999, no. 6, pp. 24–27. (In Russian)

Basson M., Rosenberg A., Beddington J.R. The accuracy and reliability of two new methods for estimating growth parameters from length-frequency data. *J. Cons. Int. Explor. Mer*., 1988, vol. 44, pp. 277–285.

Bertalanffy L. von. A Quantitative Theory of Organic Growth. *Human Biology*, 1938, vol. 10, no. 1, pp. 181–213.

Bhattacharya C.G. A simple method of resolution of a distribution into gaussian components. *Biometrics*, 1967, vol. 23, pp. 115–135.

Collie J.S., Kruse G.H. Estimating king crab (*Paralithodes camtschaticus*) abundance from commercial catch and research survey data. In: Jamieson G.S., Campbell A. (Eds.), Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci*., 1998, vol. 125, pp. 73–83.

Collie J.S., Sissenwine M.P. Estimating population size from relative abundance data measured with error. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*., 1983, vol. 40, pp. 1871–1879.

Doubleday W.G. A Least Squares Approach to analyzing catch at age data. *ICNAF, Res. Bull.*, 1976, no. 12, pp. 69–81.

Fletcher R.I. Time-dependent solutions and efficient parameters for stock production models. *U.S. Fish Bull*, 1978, vol. 76, pp. 377–388.

Gayanilo F.C., Jr., Sparre P., Pauly D. FAO-ICLARM stock assessment tools II. User's guide. Computerized Information Series. Fisheries, 2005, no. 8. Rome: FAO. 168 p.

Harding J.P. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. *J. Mar. Biol. Ass. U. K*. 1949, vol. 28, no. 1, pp. 141–153.

Koeller P., Fuentes-Yaco C., Covey M., King M. The last traffic light on the Scotian Shelf: shrimp 2009–2010 / Research document (Canadian Science Advisory Secretariat). 2011/061. 84 p.

McCullagh P., Nelder J.A. Generalized Linear Models. 2nd Edition, Chapman and Hall, London, 1989, 532 p.

Prager M.H. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model. *Fishery Bulletin*, 1994, № 92, pp. 374–389.

Reference points for fisheries management: their potential application to straddling and highly migratory resources. 1993. FAO Fish. Circ. 864. 52 p.

Report of the workshop to finalize the ICES data-limited stock (DLS) methodologies documentation in an operational form for the 2013 advice season and to make recommendations on target categories for data limited stocks (WKLIFE2). 2012. ICES CM 2012/ACOM:79.

Schaefer M.B. Some aspects of dynamics of populations important to the management of commercial

marine fisheries. *Int. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.,* 1954, vol. 1, pp. 27–56.
Schaefer M.B. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Int. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull*., 1957, vol. 2. P. 247–268.
Schnute J., Fournier D. A new approach to length frequency analysis: growth structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1980, vol. 37, pp. 1337–1351.
Shepherd J.G. A weakly parametric method for the analysis of length composition data / Length-based methods in fisheries research. Manila, Philippines; Safat, Kuwait: ICLARM; KISR, 1987, pp. 113–120.
Tanaka E., Tanaka S. A method for estimating age-composition from length-frequency by using stochastic growth equation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1990, vol. 56 (8), pp. 1209–1218.
Vasilets P.M. FMS analyst – computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.5186.0962.
Zheng J., Kruse J.H., Murphy M.C. A length-based approach to estimate population abundance of Tanner crab, Chionoecetes bairdi, in Bristol Bay, Alaska. In: Proceeding of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Edited by G.S. Jamieson and A. Campbell. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 1998, vol. 125, pp. 97–105.

Статья поступила в редакцию: 29.04.2019
Статья принята после рецензии: 03.09.2019