

УДК 597.553.2-135.001.5

DOI 10.15853/2072-8212.2016.42.44-57

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПО ОСЕННИМ ТРАЛОВЫМ УЧЕТАМ МОЛОДИ КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA* ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЕЕ ВОЗВРАТА НА СЕВЕРО-ВОСТОК КАМЧАТКИ

Е.С. Воронова, В.Г. Ерохин, Е.А. Шевляков, М.Г. Фельдман



Мл. н. с.; зав. лаб., к. б. н.; зав. лаб., к. б. н.; вед. н. с., к. б. н.; Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18  
Тел.: (4152) 41-07-74. E-mail: voronova.e.s@kamniro.ru

*КЕТА, ГОРБУША, СЕГОЛЕТОК, ТРАЛОВЫЙ УЧЕТ МОЛОДИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОПОЛНЕНИЯ ЛОСОСЕЙ, РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ*

По результатам траловых учетных съемок молоди лососей, осуществленных в юго-западной части Берингова моря, проведен расчет численности сеголеток кеты (*Oncorhynchus keta*) 16 поколений. Проанализирована связь численности кеты на стадии сеголетка и половозрелыми особями с помощью регрессионного анализа. Используемая модель связи между учтенной молодью кеты и возвратом ее поколений показала удовлетворительные результаты по расчетной численности поколений на примере восьми состоявшихся возвратов из тринадцати.

## ANALYSIS OF THE USE OF JUVENILE CHUM SALMON *ONCORHYNCHUS KETA* AUTUMN TRAWL SURVEY DATA IN THE ASSESSMENT OF ADULT RETURNS IN THE NORTH-EAST OF KAMCHATKA

Ekaterina S. Voronova, Viktor G. Yerokhin, Eugeny A. Shevlyakov, Mark G. Feldman

Research Assistant; Head of Lab., PhD in Biology; Head of Lab., PhD in Biology;  
Leading Scientist, PhD in Biology; Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography  
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18  
Tel.: (4152) 41-07-74. E-mail: voronova.e.s@kamniro.ru

*CHUM SALMON, PINK SALMON, UNDERYEARLING, JUVENILE TRAWL SURVEY, FORECASTING SALMON RECRUITMENT, REGRESSION ANALYSIS*

The number of underyearlings in 16 generations of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) was calculated from results of juvenile salmon trawl surveys in the Southwestern Bering Sea. Correlation between the number of the underyearlings and the mature stocks was evaluated from regression analysis. The model used for description of the correlation between observed juvenile chum salmon escapements and adult returns demonstrated satisfactory results about generation abundance in eight of 13 returns observed.

Целесообразность проведения траловых съемок по учету молоди лососей в юго-западной части Берингова моря на протяжении длительного времени (с начала 1980-х годов) подтверждена положительными результатами при прогнозировании нерестовых подходов горбуши (Ерохин, 1992, 2002, 2006, 2007; Ерохин и др., 2004). Использование результатов траловых учетных съемок молоди как метода прогнозирования запасов горбуши в принципе позволяет применить его и при прогнозировании подходов кеты в силу сходства экологии горбуши и кеты на раннем этапе жизни, в частности одновременного ската на стадии сеголетка в прибрежные воды, и как следствие — возможности единовременного их учета в море (Ерохин, Воронова, 2014).

Данное исследование направлено на поиск связи между численностью поколений кеты, учтенных на стадии сеголетка, и их возвратов

уже в качестве производителей. Впоследствии выявленные закономерности позволят перейти к прогнозированию подходов половозрелых рыб разного возраста созревания в конкретный год.

Отметим, что в работе были использованы результаты траловых съемок по учету молоди не только кеты, но и горбуши. Использование данных по учету последней позволяет своевременно проводить поправки оцененных величин поколений кеты на стадии сеголетка, учтенных в море одновременно с молодью горбуши, но возвращающихся на нерест позднее (на год и более). Такие корректировки проводятся с помощью поправочных коэффициентов. Применение поправочных коэффициентов призвано минимизировать ошибки, полученные при проведении траловых работ, с одной стороны, и влияние неучтенных факторов — с другой.

Целью настоящей работы является анализ возможности использования результатов траловых учетных съемок сеголеток кеты в юго-западной части Берингова моря для определения урожайности ее поколений.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

– провести ревизию первичной информации траловых съемок молоди кеты и горбуши Берингова моря, подготовить данные для расчета численностей молоди этих видов;

– используя материалы траловых учетных съемок, рассчитать общую численность учтенной молоди горбуши и кеты на юго-западе Берингова моря при помощи географической информационной системы (ГИС) «КартМастер»;

– проанализировать соотношение связей численности молоди кеты с величиной ее поколений методом регрессионного анализа.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Численность молоди горбуши и кеты в 1986–2014 гг. в Беринговом море оценивали по результатам траловых учетов, проводимых ФГБНУ «ТИНРО-Центр» и КамчатНИРО. Отобрано семь съемок периода 1986–2005 гг., выполненных КамчатНИРО, и девять, выполненных в 2003–2014 гг. ТИНРО-Центром. Отбор первичного материала проводился по следующим параметрам:

– траления, проведенные в интервале с начала–середины сентября по конец октября;

– скорость траления не менее 3,5 узлов;

– горизонт хода верхней подборы 0 м;

– длина ваеров не менее 150 м;

– количество тралений в съемке не менее 25;

– съемки, по которым соотношение учтенной

молоди горбуши и вернувшихся половозрелых особей оказалось удовлетворительным. Этот параметр необходим для корректировки подсчета учтенной численности молоди кеты по возврату горбуши на следующий год, позволяя оценить адекватность проводимых исследований (Ерохин, Воронова, 2014).

Построение карт распределения лососей осуществляли в стереографической проекции при помощи метода сплайн-аппроксимации, реализованного в программе ГИС «КартМастер», разработчиками которой являются сотрудники ВНИРО В.А. Бизиков и А.В. Поляков (Бизиков, Поляков, 2004). Также с помощью ГИС «КартМастер» рассчитан общий запас молоди горбуши и кеты на обследованной акватории. (Рисунки в Приложении).

Связь между численностью учтенных сеголетков кеты и численностью возврата этого поколения определялась методом регрессионного анализа с применением поправочных коэффициентов, представляющих собой пропорцию между величиной отклонения учтенной численности молоди горбуши от той численности, которая соответствует ее фактическому возврату в рамках функции «учет молоди – возврат поколения» горбуши (рис. 1).

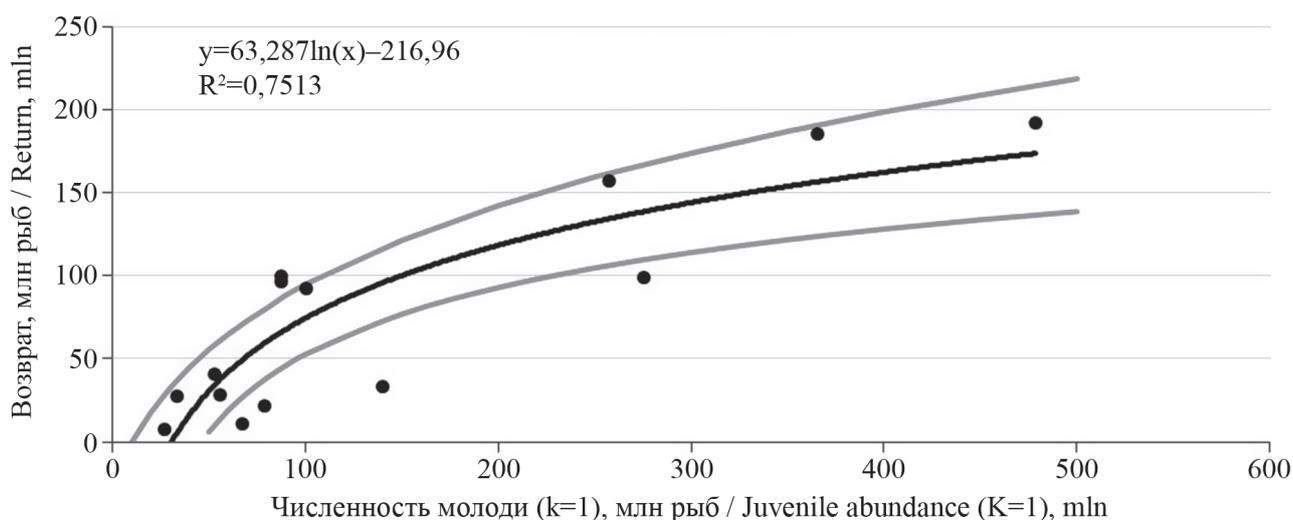


Рис. 1. Зависимость «учет молоди – возврат поколения» горбуши по данным съемок КамчатНИРО и ТИНРО-Центра в 1986–2014 гг.  
Fig. 1. The correlation “juvenile escapement – adult run” for pink salmon on the data of surveys by KamchatNIRO and TINRO-Center in 1986–2014

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Ретроспективный анализ методов прогнозирования нерестовых возвратов кеты Карагинской подзоны в конкретный год на основе расчета ее поколений*

Прогноз подходов в конкретный год половозрелых рыб разного возраста созревания основан на расчете урожайности нескольких поколений. Прогнозирование численности поколений кеты северо-восточного побережья Камчатки базируется на нескольких методах, разработанных в результате накопления временных рядов данных биологической и промысловой статистики, а также авиаучетов производителей на нерестилищах. Один из методов, применяемых при подготовке материалов прогнозов вылова кеты, основан на зависимости урожайности поколения от объема вносимого органического вещества (Шевляков, Заварина, 2004). Методика прогнозирования заключается в оценке влияния на кормовую базу молоди кеты органического вещества, вносимого из моря в реки производителями горбуши и кеты. Предложенный механизм довольно адекватно объясняет высокие флуктуации уровня эффективности воспроизводства кеты, но в качестве расчетного параметра обладает значительными ошибками (до 75% от фактических величин) в результате воздействия на дальнейшее выживание молоди других факторов, в числе которых находится морская смертность и т. д. (табл. 1. При составлении прогно-

зов по кете метод, основанный на остаточном принципе, начали применять с момента прогнозирования кеты на 2012 год, но в опубликованной брошюре за 2012 год этой информации нет. Поэтому в материалах (указанных в пункте 2 данного документа) первым стоит 2013 год.)

В последние годы (с 2012-го) при расчете возврата старших возрастных групп в поколении в качестве базового применяется метод, основанный на остаточном принципе. Он подразумевает под собой следующее: при сохранении относительно стабильного распределения кеты по возрастным группам созревания за определенный временной период и, следовательно, возврата, зная количество уже вернувшихся производителей и их долю в поколении, можно с большой вероятностью оценить оставшуюся численность поколения с учетом времени подхода рыб разного возраста созревания (Лососи..., 2013; Лососи..., 2014; Лососи..., 2015; Лососи..., 2016). Ошибка при прогнозировании может достигать 37%. Однако методика не может применяться в отношении прогнозирования поколения в целом до момента начала возврата рыб младших возрастов, а распространяется только на возрастные группы, следующие за первой численно значимой в поколении. Следовательно, когда уже известен фактический возврат рыб возраста 3+, можно с достаточной степенью достоверности оценить численность оставшихся возрастных групп в поколении (таких групп две — рыбы возраста 4+ и 5+).

Таблица 1. Ретроспективный анализ методов прогнозирования величин подходов половозрелой кеты Карагинской подзоны  
Table 1. The retrospective analysis of the forecasting methods for the runs of mature chum salmon in Karaginskaya subzone

Год подхода на нерест Year of run	Прогнозируемый подход, млн экз. Forecasted run, mn ind	Фактический подход (вылов+пропуск), млн экз. In-fact run (catch+escapement), mn ind	Метод прогнозирования Method of forecasting	Отклонение от факта, % Deviation from in-fact run, %
2001	1,47	2,97	1	-51
2002	1,78	1,74	1	+2
2003	1,89	1,74	1	+9
2004	1,28	1,10	1	+17
2005	1,56	2,99	1	-48
2006	1,95	3,85	1	-49
2007	3,99	3,30	1	+21
2008	4,66	2,67	1	+75
2009	4,76	3,70	1	+28
2010	4,29	2,54	1	+69
2011	4,88	3,23	1	+51
2012	2,99	4,48	1; 2	-33
2013	3,39	5,41	1; 2	-37
2014	5,81	6,52	1; 2	-11
2015	5,08	4,68	1; 2	+9
2016	5,10	—	1; 2; 3	—

Примечание: 1 — метод, основанный на зависимости урожайности поколения от величины вносимого органического вещества; 2 — метод, основанный на остаточном принципе; 3 — метод на основе зависимости величины поколения от учетной молоди, с привлечением результатов траловых учетных съемок сеголеток кеты в Беринговом море.  
Note: 1 — the method based on the relation between generation abundance and amount of organic substance inserted; 2 — the method based on the principle of residuals; 3 — the method based on the correlation between generation abundance and juvenile escapement, taking into account results of trawl surveys of chum salmon underyearlings in the Bering Sea.

Результаты расчетной и фактической численности половозрелой кеты Северо-Восточной Камчатки за 2001–2015 гг., а также метод прогнозирования и величина ошибки приведены в таблице 1.

*Прогнозирование численности поколений кеты Карагинской подзоны, основанное на результатах тралового учета ее молоди*

Как отмечалось выше, для своевременной корректировки численности молоди кеты рассчиты-

вались поправочные коэффициенты по возврату горбуши на следующий год. Правки осуществляли перемножением значений учтенной численности молоди кеты и поправочных коэффициентов по горбуше (табл. 2). Применение поправочных коэффициентов при корректировках расчетной численности молоди кеты значительно сужает разброс данных, и, соответственно, улучшается качество регрессии (рис. 2А, Б).

Таблица 2. Расчетная численность сеголеток кеты, расчетные величины возврата поколений кеты по кривой с указанием доверительного интервала, фактический возврат поколений  
Table 2. The number of underyearlings and the returns of chum salmon generations forecasted by the model (curve and confidence intervals) and in-fact

Год съемки Year of survey	Учтенная численность молоди на съемке, млн экз. Juvenile escapement from the survey data, mn ind			Прогнозируемая численность поколений (с доверительным интервалом), млн экз. Forecasted generation abundance (with confidence interval), mn ind			Фактическая численность поколений, млн экз. In-fact generation abundance, mn ind (years of return)	Отклонение от фактической численности, % Deviation from in-fact abundance, %
	Расчетанная численность в ГИС «КартМастер» GIS «MapMaster» calculated abundance	Поправочный коэффициент по горбуше Correction factor for pink salmon	Скорректированная численность Corrected abundance	Минимальное значение Minimal value	Среднее значение Mean	Максимальное значение Maximal value		
1986	3,68	2,49	9,18	3,82	4,84	5,86	4,60 (1988–1992)	+5
1989	2,92	1,19	3,47	1,45	2,64	3,83	0,12 (1991–1995)	+2200
1990	4,70	1,65	7,77	3,46	4,46	5,46	2,79 (1992–1996)	+60
1991	1,03	1,02	1,05	0	0	2,27	0,56 (1993–1997)	–
2000	12,53	0,96	12,0	4,35	5,44	6,53	6,86 (2002–2006)	–21
2002	10,47	1,55	16,21	4,89	6,12	7,35	5,73 (2004–2008)	+7
2003	14,29	0,46	6,55	3,07	4,08	5,08	2,96 (2005–2009)	+38
2004	8,44	1,26	10,59	4,11	5,16	6,21	2,63 (2006–2010)	+96
2005	5,01	–	5,01	2,42	3,47	4,52	3,78 (2007–2011)	–8
2006	10,98	0,52	5,67	2,73	3,75	4,77	3,64 (2008–2012)	+3
2008	17,93	1,57	28,19	5,71	7,36	9,01	7,01 (2010–2014)	+5
2009	3,72	0,44	1,64	0	0,96	2,73	2,10 (2011–2015)	–54
2010	15,60	1,84	28,72	5,73	7,40	9,07	10,34 (2012–2016)	–28
2012	5,04	0,71	3,59	1,55	2,72	3,89	3,23*(2014–2018)	–
2013	3,68	0,32	1,17	0	0,20	2,36	** (2015–2019)	–
2014	16,21	1,58	25,6	5,58	7,15	8,71	** (2016–2020)	–

Примечание: \* — численность поколения 2011 г. без возраста 4+; 5+; \*\* — не произошло возврата ни одной значимой возрастной группы в поколениях 2012 и 2013 гг. (годы траловых съемок 2013 и 2014 гг. соответственно)  
Note: \* — the generation abundance 2011 where the ages 4+ and 5+ were not included; \*\* — no one important age group returned in generations 2012 and 2013 (in the years of the trawl surveys 2013 and 2014, respectively)

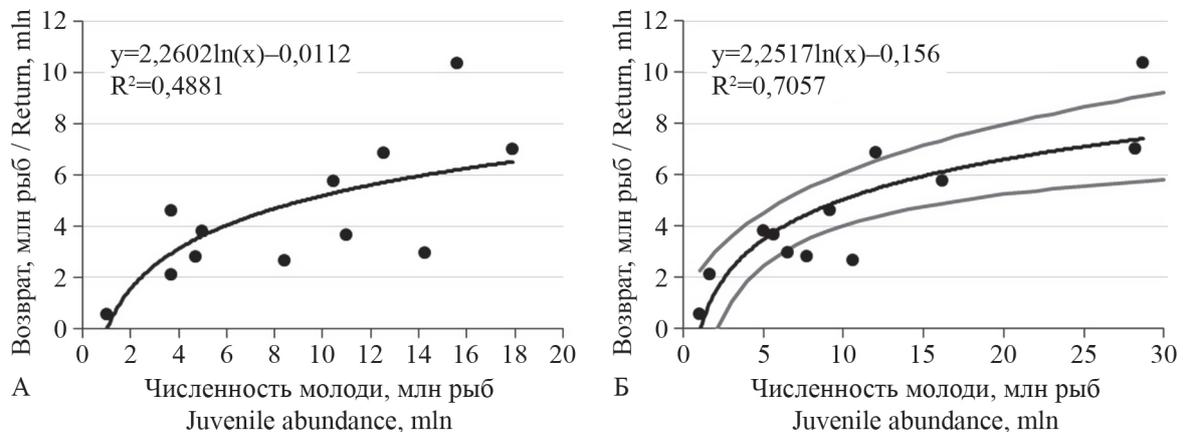


Рис. 2. Зависимость «учет молоди – возврат поколения» кеты по данным съемок КамчатНИРО и ТИНРО-Центра в 1986–2014 гг. А — без поправочного коэффициента по горбуше; Б — с поправочным коэффициентом  
Fig. 2. The correlation “juvenile escapement – generation return” for chum salmon on the data of surveys by KamchatNIRO and TINRO-Center in 1986–2014. A — the correction factor for pink salmon not used, Б — the correctic factor used

По данным скорректированной численности молодежи и имеющихся возвратов поколений кеты построена регрессия «учет молодежи – возврат поколения» с 95%-м доверительным интервалом, который позволяет минимизировать ошибки прогнозирования (рис. 2Б). Скорректированная численность молодежи кеты и прогнозируемый возврат численности ее поколений (с минимальными и максимальными значениями) представлены в таблице 2, где из шестнадцати проведенных траловых съемок учета молодежи в юго-западной части Берингова моря фактический возврат уже совершили в полном объеме тринадцать поколений. Из них расчетная численность поколений вошла в диапазон доверительного интервала в восьми случаях (62%). Данные результатов прогнозируемых возвратов поколений половозрелой кеты периода 1990–2014 гг., полученные с помощью регрессии, также представлены графически (рис. 3).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ретроспективный обзор методик прогнозирования нерестовых возвратов кеты Карагинской подзоны в конкретный год на основе расчета ее поколений показал, что при использовании метода кратности воспроизводства кеты разница между прогнозируемым и фактическим подходами может достигать 75%. Использование методики расчета численности поколения, основанной на остаточном принципе, при прогнозировании ожидаемого подхода производителей на конкретный год ориентирует на более положительные результаты, с максимальным откло-

нением 37%. Однако данный метод применим в отношении расчета старших возрастных групп в поколении, следующих за первой, численно значимой возрастной группой при условии, что за определенный период времени доли всех возрастных групп внутри поколений относительно стабильны.

В результате обработки первичных материалов траловых съемок по численности молодежи кеты, а также благодаря поправкам оцененных численностей ее молодежи по возврату горбуши на следующий год после одновременного их учета в море, методом регрессионного анализа была рассчитана численность молодежи кеты шестнадцати поколений. При построении связи между численностью молодежи и нерестовыми возвратами поколений кеты применяли регрессию «учет молодежи – возврат поколения» с 95%-м доверительным интервалом, который позволяет свести ошибки прогнозирования к минимуму. Проведенный анализ связи «учет молодежи – возврат поколения» показал удовлетворительные результаты по расчетной численности поколений на примере восьми состоявшихся возвратов из тринадцати.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность коллегам из лаборатории биоценологии ТИНРО-Центра, предоставившим для исследования свою базу данных траловых съемок; а также ведущему инженеру-исследователю лаборатории морских промысловых рыб И.Ю. Спирину — за помощь в работе по расчету численности молодежи рыб в ГИС «КартМастер».

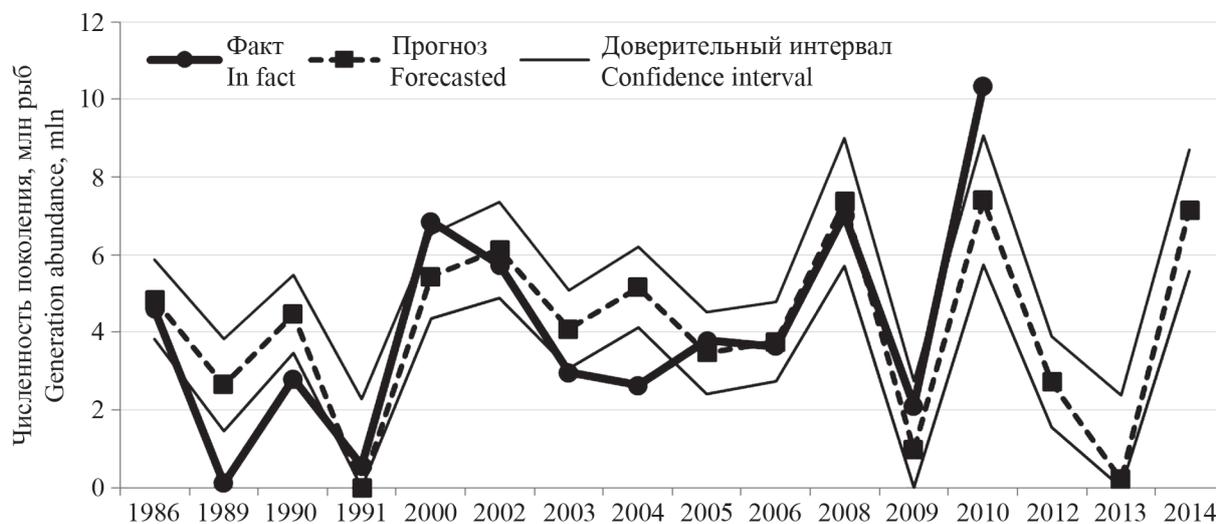


Рис. 3. Фактические и расчетные величины поколений 1985–2013 гг.  
Fig. 3. The in-fact and calculated values for generations of 1985–2013

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бизиков В.А., Поляков А.В. 2004. Географическая информационная система «КартМастер»: новые возможности и перспективы для рыбохозяйственных исследований // Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях Мирового океана. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 1–2.

Ерохин В.Г. 1992. Площадные траловые съемки молоди лососей в прикамчатских водах // Тез. докл. отчетн. сессии ТИНРО и его отд. по результатам науч.-исслед. работ 1991 г. Владивосток: ТИНРО. С. 41–42.

Ерохин В.Г. 2002. Биология молоди тихоокеанских лососей в прикамчатских водах Охотского моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 24 с.

Ерохин В.Г. 2006. Оценка нерестовых возвратов горбуши и нерки Западной Камчатки по материалам траловых учетов их молоди в Охотском море // Бюл. № 1 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 248–252.

Ерохин В.Г. 2007. Методико-биологические основы морского мониторинга тихоокеанских лососей в научной практике КамчатНИРО // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого

океана: Сб. науч. тр. КамчатНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 9. С. 50–78.

Ерохин В.Г., Воронова Е.С. 2014. Прогноз численности подходов производителей кеты Северо-Восточной Камчатки в 2012–2014 гг. на основе результатов траловых учетов ее молоди в период откочевки в океан // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 33. С. 15–24.

Ерохин В.Г., Декштейн А.Б., Карпенко В.И. 2004. Результаты оценки численности молоди лососей в Охотском море в 2003 г. // Сб. тр. Магадан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 2. С. 50–78.

Лососи-2013 (путинный прогноз). 2013. Владивосток: ТИНРО-Центр.

Лососи-2014 (путинный прогноз). 2014. Владивосток: ТИНРО-Центр.

Лососи-2015 (путинный прогноз). 2015. Владивосток: ТИНРО-Центр.

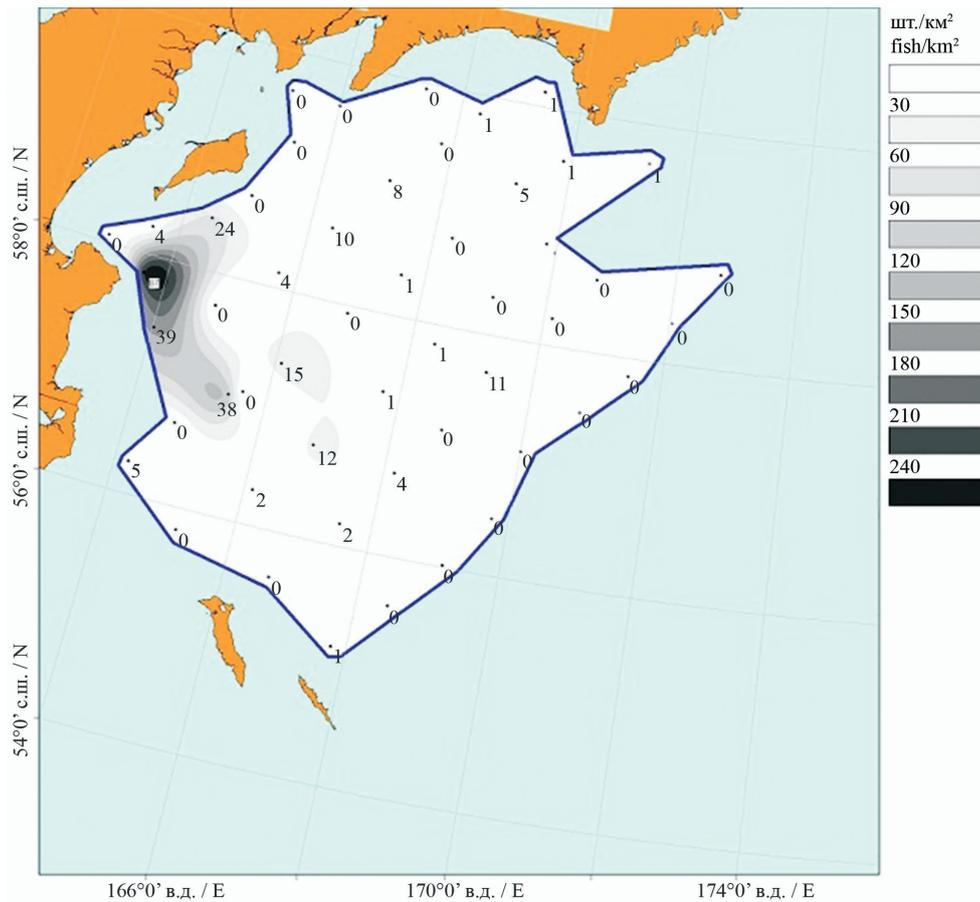
Лососи-2016 (путинный прогноз). 2016. Владивосток: ТИНРО-Центр.

Шевляков Е.А., Заварина Л.О. 2004. Об особенностях динамики численности и методиках прогнозирования запасов кеты *Oncorhynchus keta walbaum* (Salmonidae) Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 7. С. 181–186.

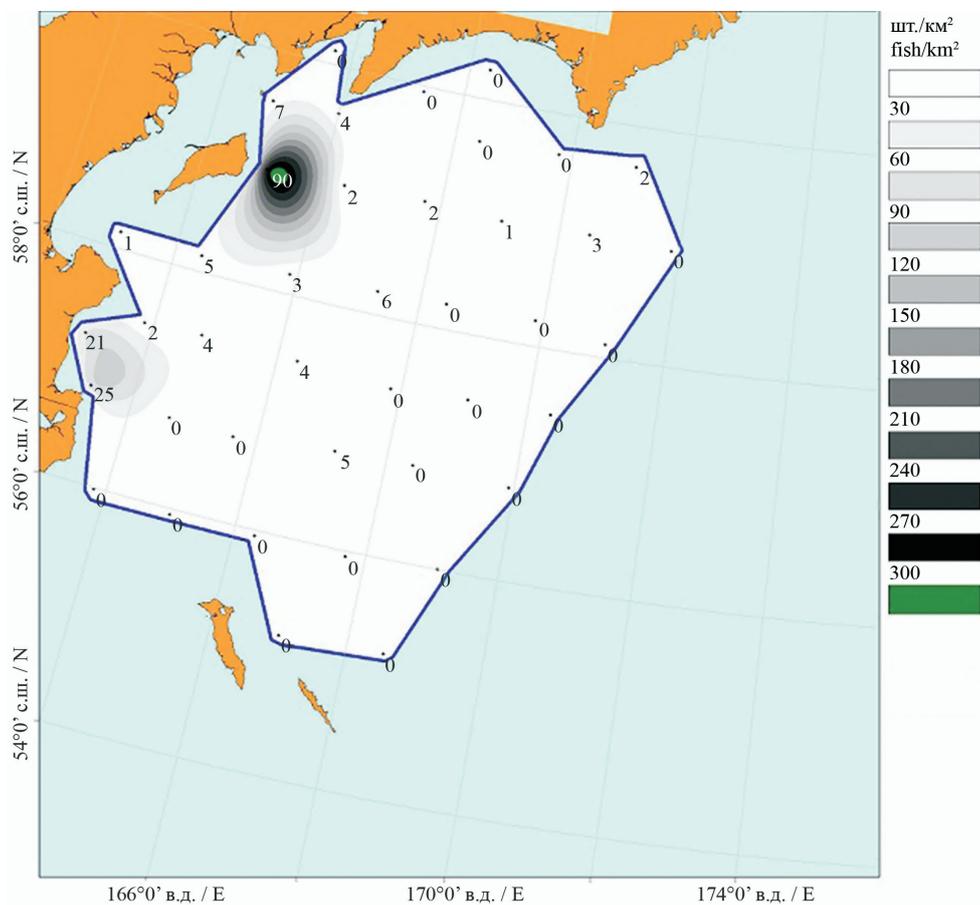
## ПРИЛОЖЕНИЯ / APPLICATIONS

Характер распределения сеголеток кеты в пределах границ проведения траловых учетных съемок осенью 1986–2014 гг.: А) 4 – 25 сентября 1986 г.; Б) 8 сентября – 8 октября 1989 г.; В) 10 – 29 сентября 1990 г.; Г) 9 – 25 сентября 1991 г.; Д) 1 сентября – 8 октября 2000 г.; Е) 2 сентября – 14 октября 2002 г.; Ж) 20 августа – 29 сентября 2003 г.; З) 14 сентября – 23 октября 2004 г.; И) 28 сентября – 13 октября 2005 г.; К) 1 сентября – 5 октября 2006 г.; Л) 20 сентября – 12 октября 2008 г.; М) 19 сентября – 11 октября 2009 г.; Н) 23 сентября – 17 октября 2010 г.; О) 9 сентября – 2 октября 2012 г.; П) 9 сентября – 10 октября 2013 г.; Р) 2 октября – 16 октября 2014 г.

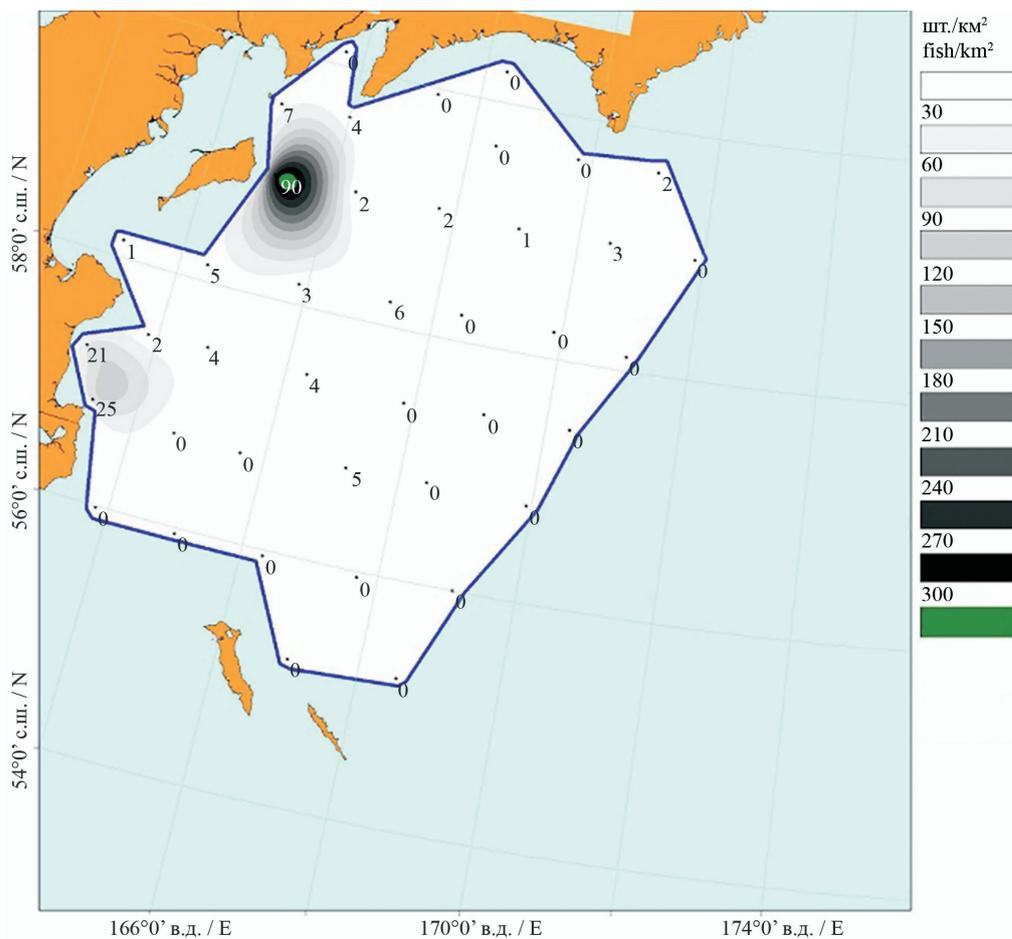
The character of the distribution of chum salmon underyearlings in the area of making autumn trawl surveys in 1986–2014: А) September 4–25, 1986; Б) September 8 – October 8, 1989; В) September 10–29, 1990; Г) September 9–25, 1991; Д) September 1 – October 8, 2000; Е) September 2 – October 14, 2002; Ж) August 20 – September 29, 2003; З) September 14 – October 23, 2004; И) September 28 – October 13, 2005; К) September 1 – October 5, 2006; Л) September 20 – October 12, 2008; М) September 19 – October 11, 2009; Н) September 23 – October 17, 2010; О) September 9 – October 2, 2012; П) September 9 – October 10, 2013; Р) October 2–16, 2014



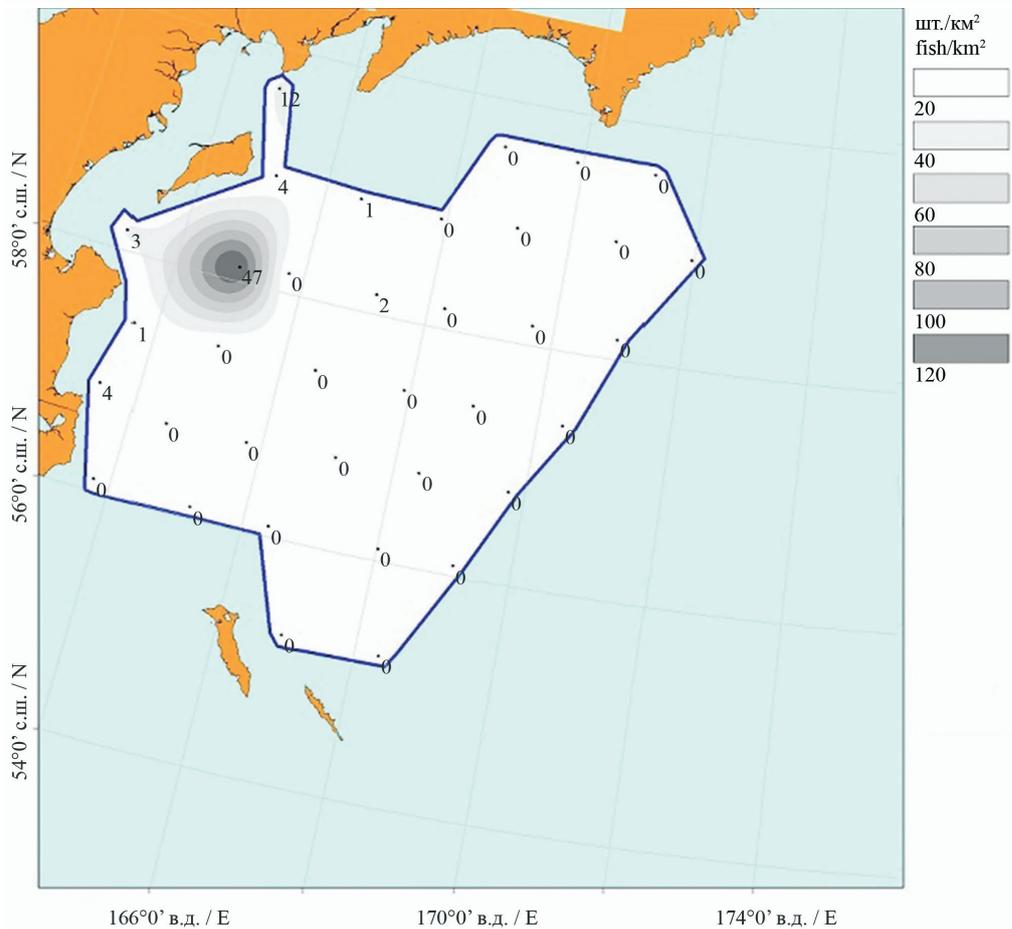
А



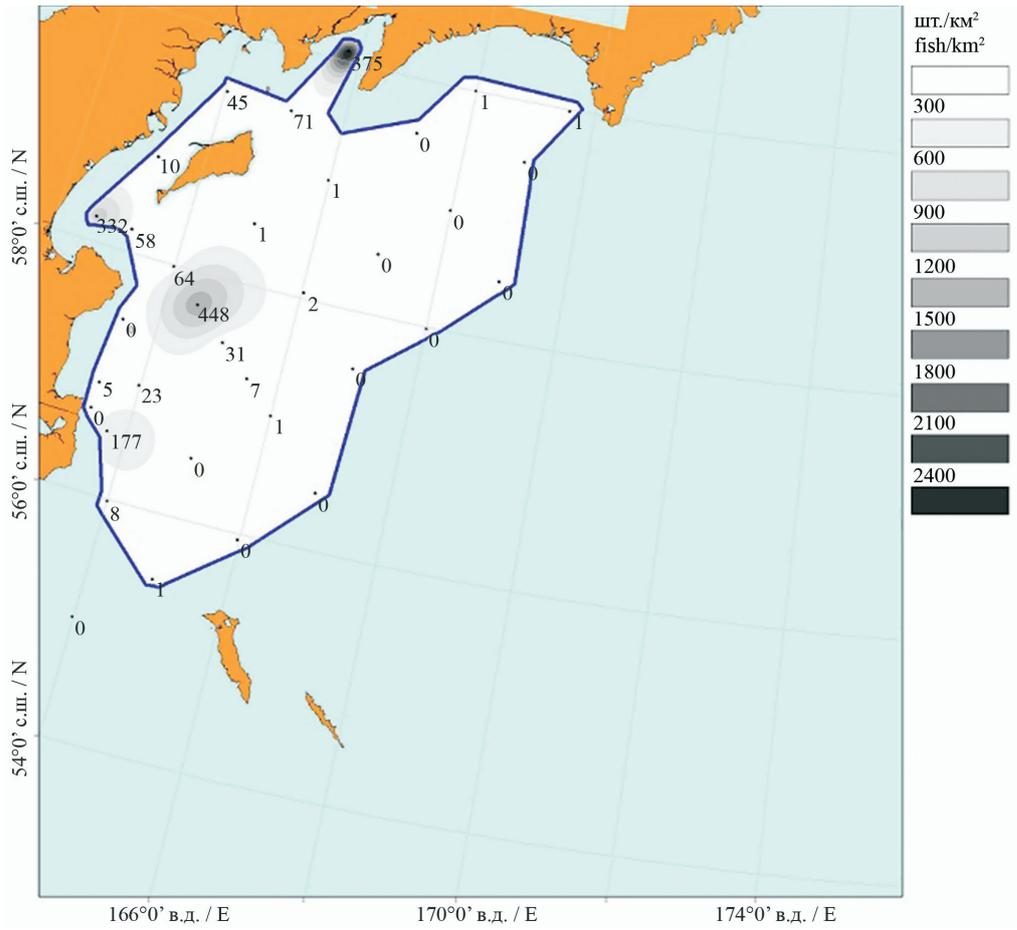
Б



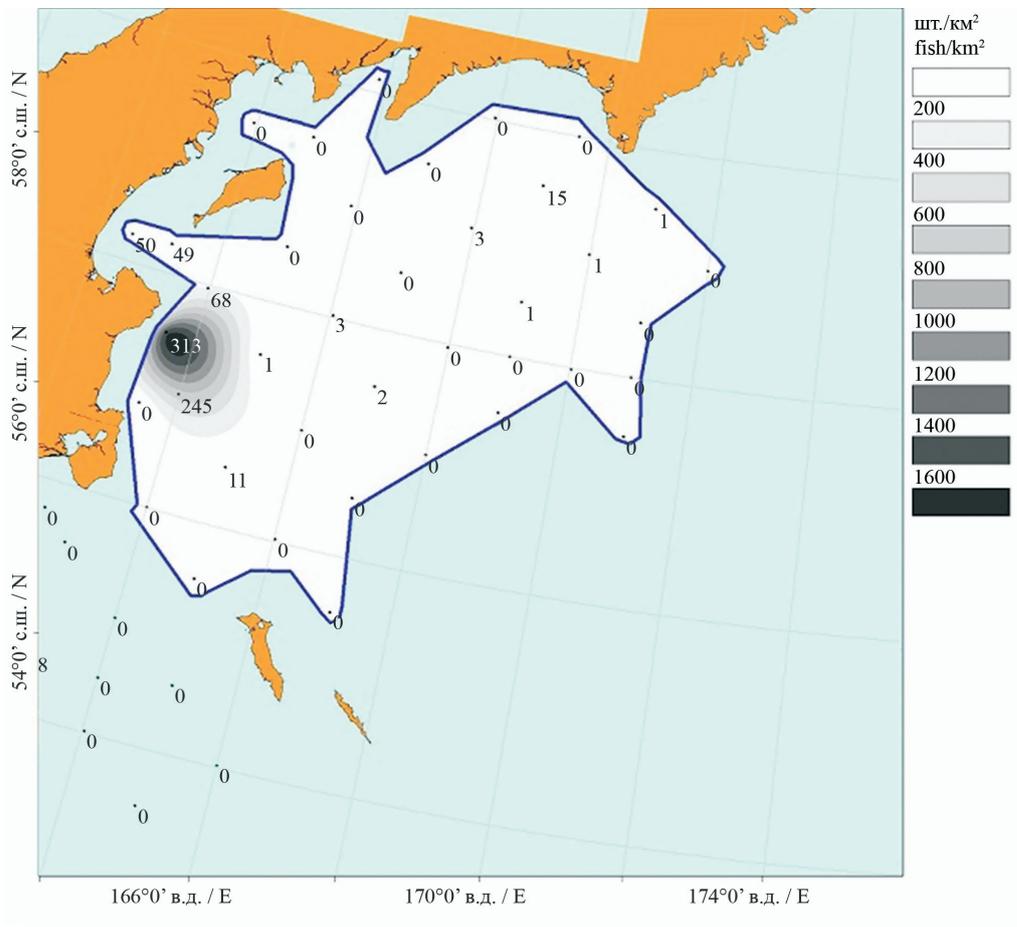
В



Г

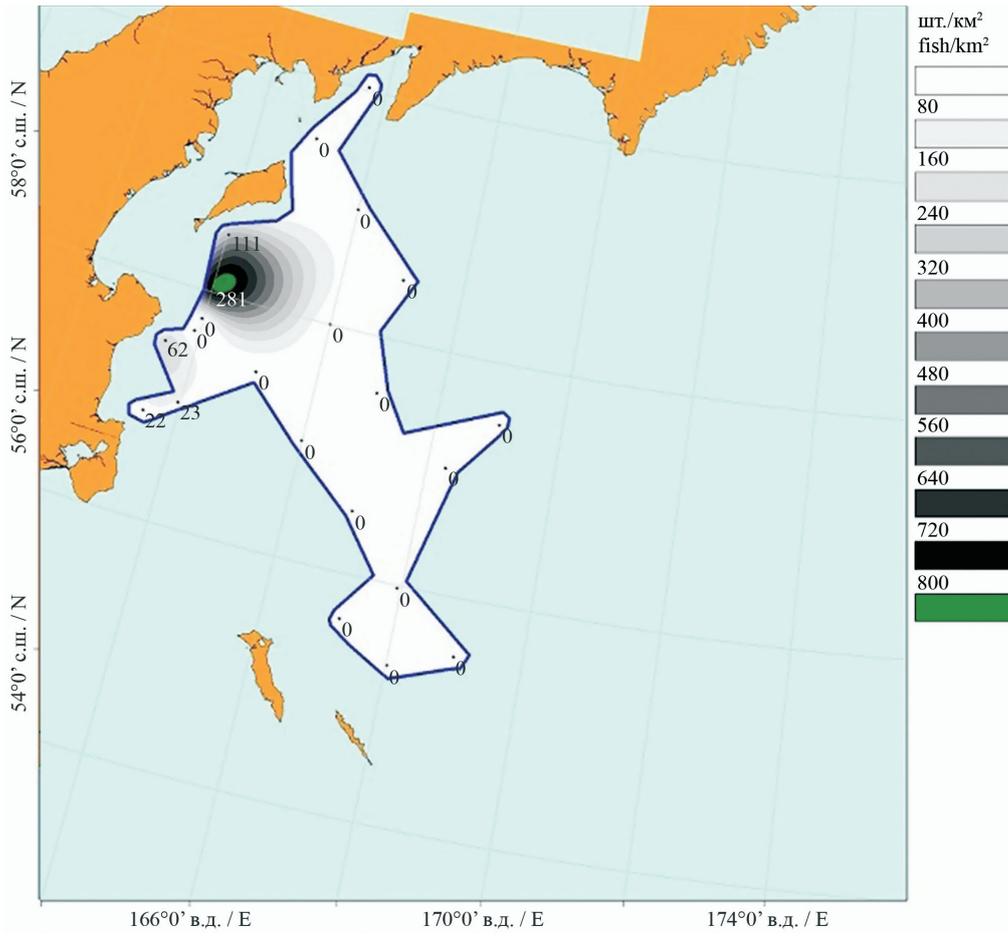


Д

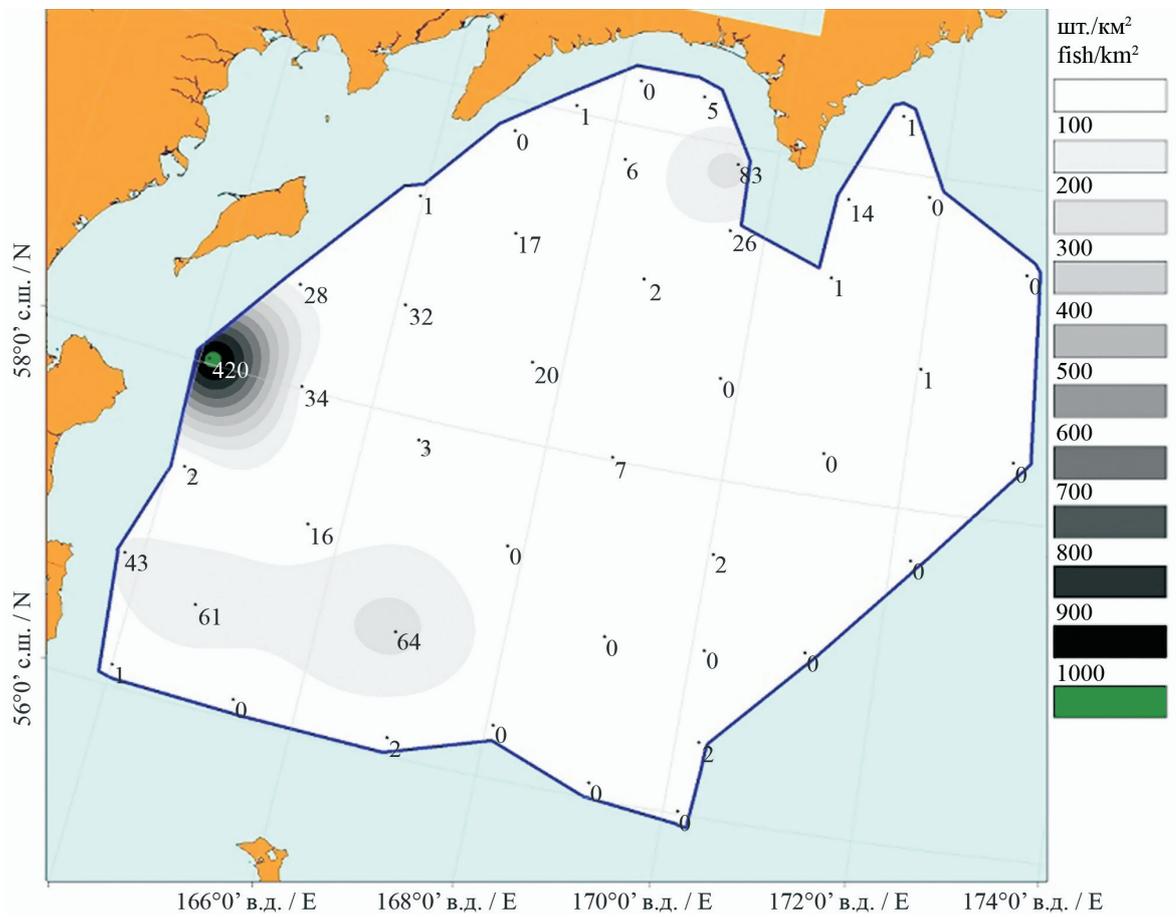


Е

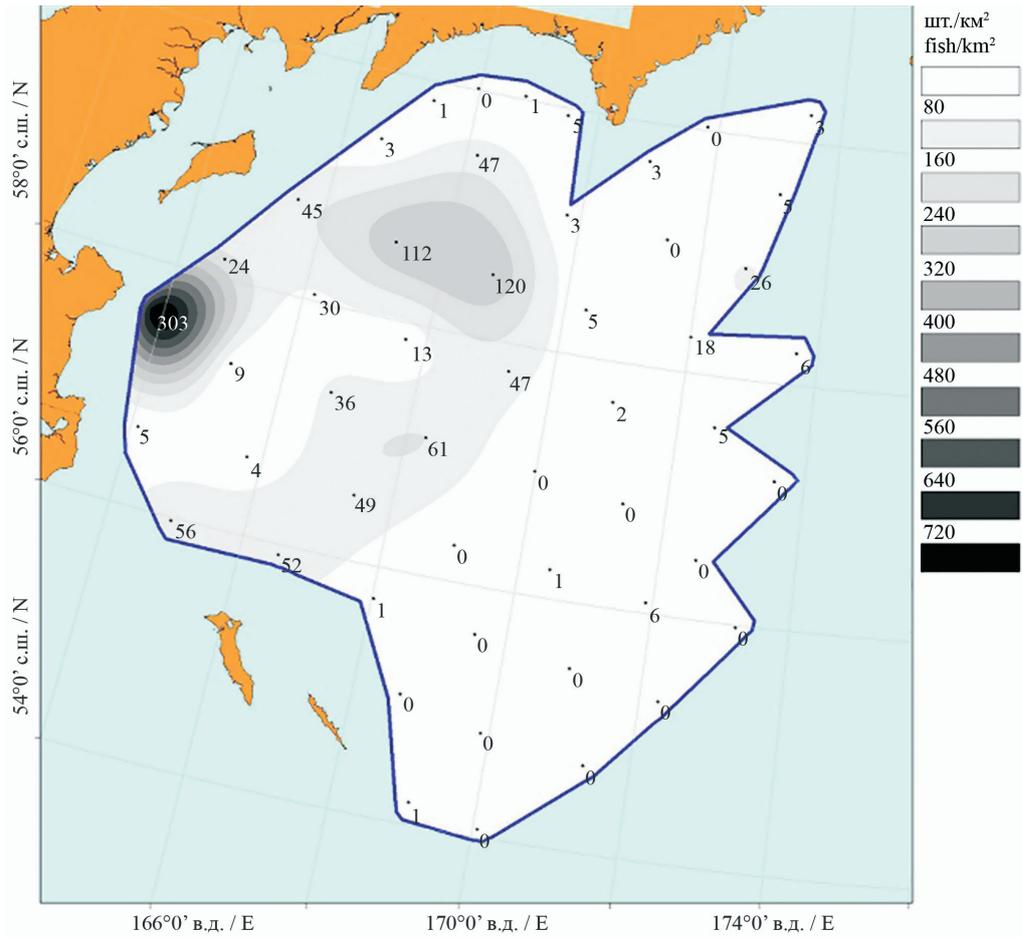




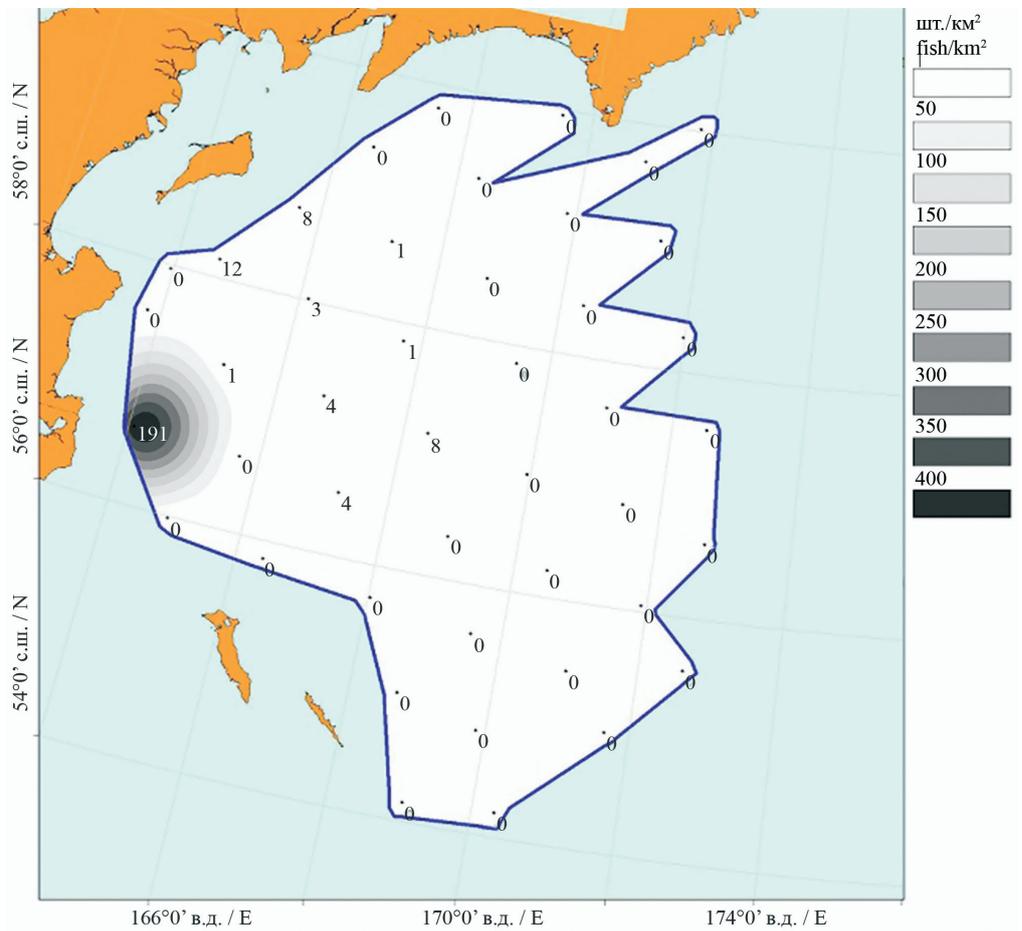
И



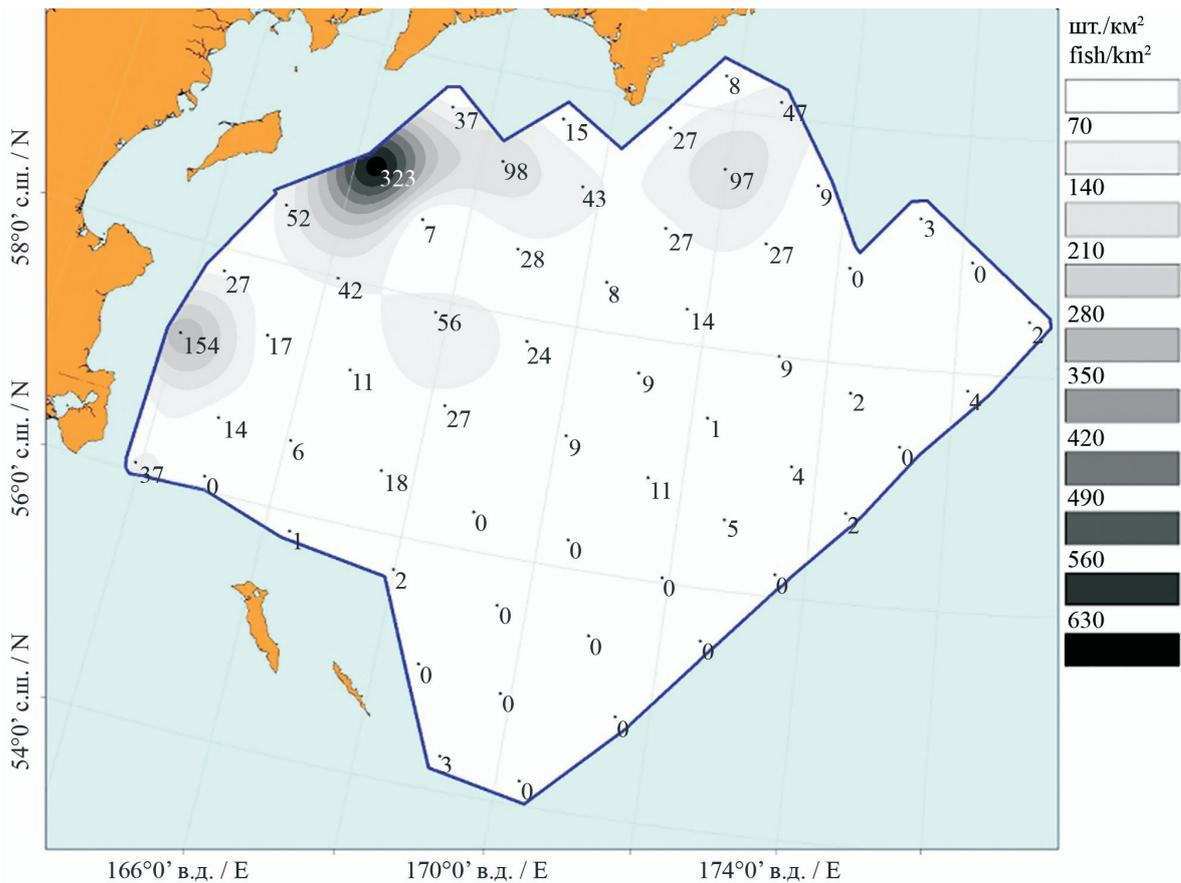
К



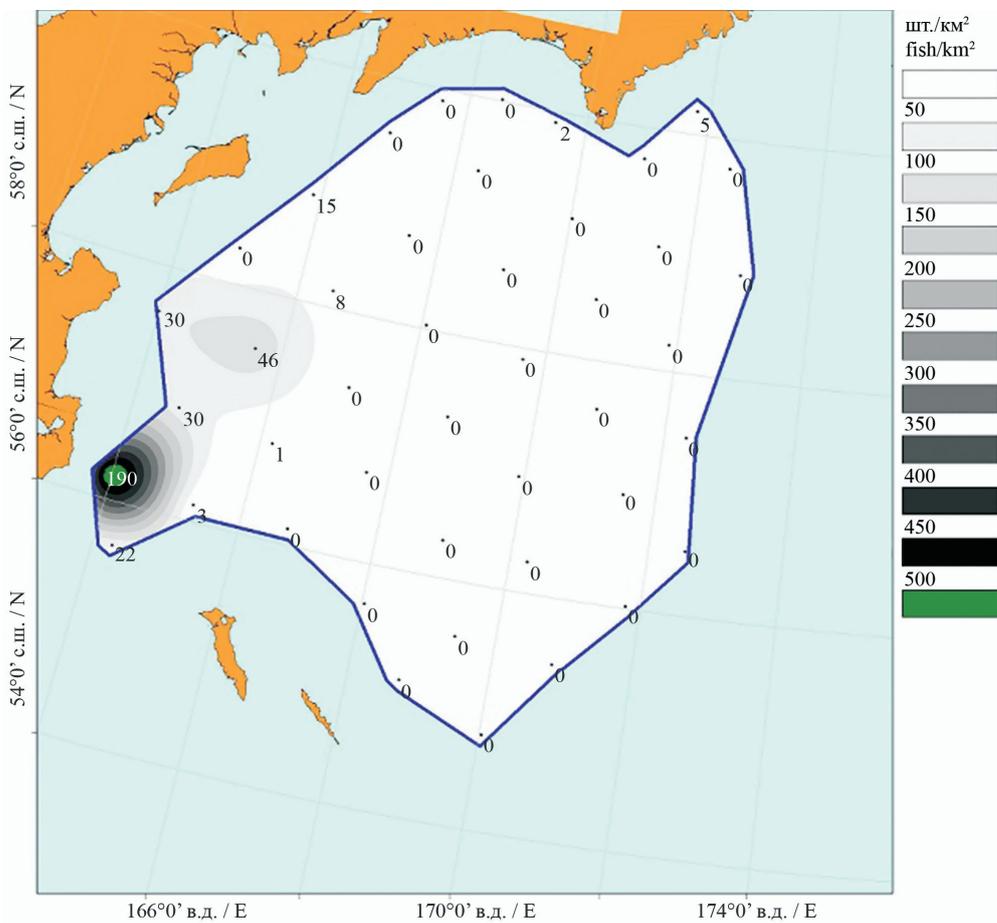
Л



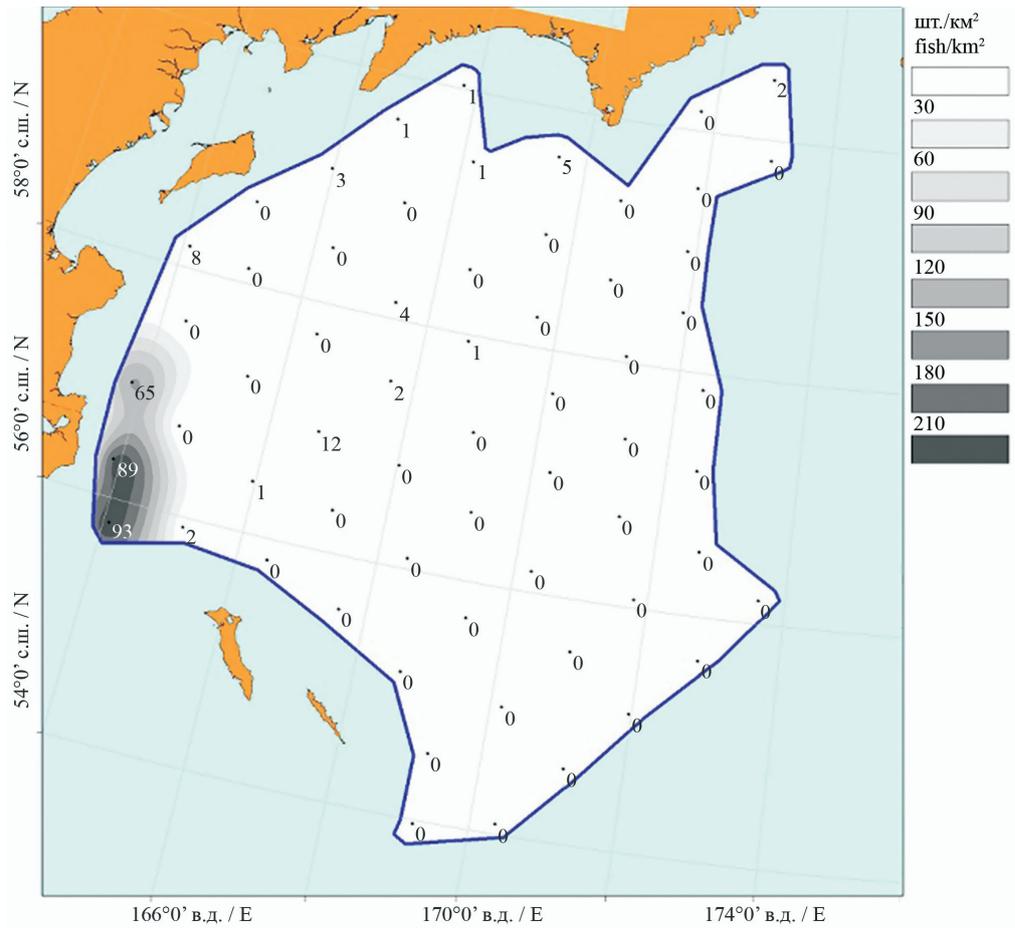
М



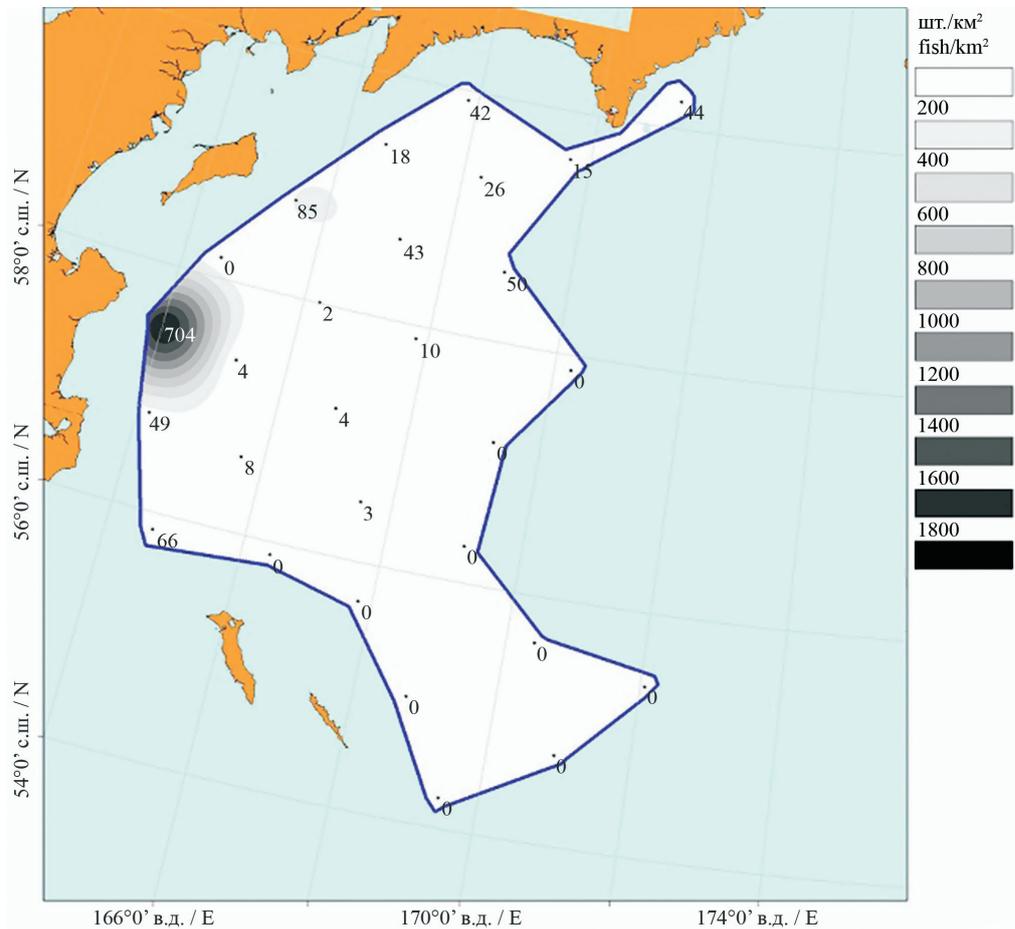
H



O



II



P