

УДК 597.562:597-131:57.087.1

**ОЦЕНКА УБЫЛИ И ПРОДУКЦИИ ИКРЫ МИНТАЯ (*THERAGRA CHALCOGRAMMA*) В КАНЬОНАХ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА****О.И. Ильин, Н.П. Сергеева**

Зав. лаб., ст. н. с., Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18  
Тел.: (4152) 42-53-79, 42-57-96  
E-mail: [ilin.o.i@kamniro.ru](mailto:ilin.o.i@kamniro.ru), [sergeeva.n.p@kamniro.ru](mailto:sergeeva.n.p@kamniro.ru)

*КАНЬОН, МИНТАЙ, ИКРА, СТАДИЯ РАЗВИТИЯ, УБЫЛЬ*

Известно, что основные нерестилища восточнокамчатской популяции минтая располагаются в глубоководных каньонах Кроноцкого и Авачинского заливов и на шельфе Юго-Восточной Камчатки. Представляет интерес определение суточной продукции и убыли икры в каньонах по данным ихтиопланктонных исследований. С помощью математического моделирования сделана попытка оценить общую продукцию икры, определить дату пика нереста, продолжительность нереста и коэффициенты убыли икры в каньонах Авачинского залива в 2003–2013 гг.

**ESTIMATION OF EGG LOSSES WASTE AND PRODUCTION OF WALLEYE POLLOCK (*THERAGRA CHALCOGRAMMA*) IN THE CANYONS OF THE AVACHINSKY GULF****O.I. Ilin, N.P. Sergeeva**

Head of department, senior scientist, Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography  
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberedzhnaya, 18  
Tel.: (4152) 42-53-79, 42-57-96  
E-mail: [ilin.o.i@kamniro.ru](mailto:ilin.o.i@kamniro.ru), [sergeeva.n.p@kamniro.ru](mailto:sergeeva.n.p@kamniro.ru)

*CANYON, WALLEYE POLLOCK, FISH EGGS, STAGE OF DEVELOPMENT, LOSSES*

It is known about the principal spawning grounds of the East Kamchatkan walleye pollock population that they are in the deep canyons of Kronotsky and Avachinsky Gulfs and on the shelf of Southeast Kamchatka. Evaluation of daily production and loss of the eggs in the canyons on the data of ichthyoplankton surveys is a challenge. Math simulation was tried for estimation of the total egg production, the time span and the pick of spawning and the coefficients of loss in the canyons of Avachinsky Gulf for 2003–2013.

Основные нерестилища восточнокамчатского минтая располагаются в глубоководных каньонах Авачинского и Кроноцкого заливов и на шельфе Юго-Восточной Камчатки, при этом наиболее интенсивное икрометание («эпицентры нереста») наблюдается именно в каньонах Авачинского залива (Буслов и др., 2004). Считается, что воспроизводство в каньонах является адаптацией и развивающиеся икринки не выносятся из глубоких впадин благодаря квазистационарному характеру динамики вод (Буслов, Тепнин, 2002; Буслов и др., 2004). Основное количество икринок развивается в слое 300–500 м, где температура воды относительно постоянна.

Продукция икры минтая и, в конечном итоге, нерестовый запас оцениваются по результатам ихтиопланктонных съемок. Исследование временного рас-

пределения количества икры состоит в построении кривой интенсивности нереста, для чего в период нереста выполняются несколько обловов в постоянных контрольных точках (рис. 1). При этом для построения продукционной кривой используются

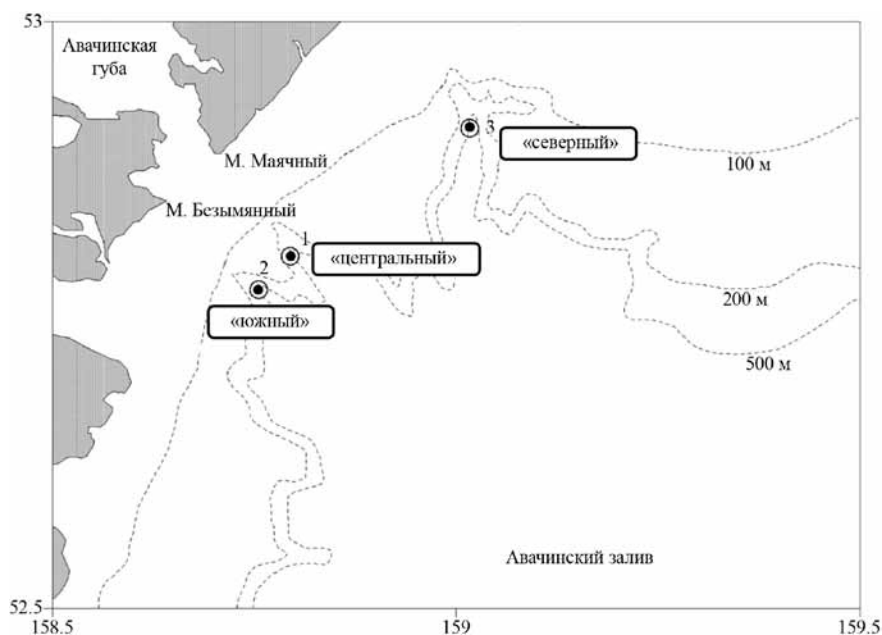


Рис. 1. Расположение «реперных» станций в каньонах Авачинского залива

данные учета икры, находящейся на 1-й стадии развития. Однако, по разным причинам, не всегда удается осуществить учетные работы в оптимальные сроки. Случается, что количество учтенной икры 2-й стадии развития превышает таковое 1-й стадии (2012, 2013 гг.). В результате оценки количества выметанной икры, а следовательно, и нерестового запаса минтая, оказываются заниженными. Получение дополнительных сведений было бы возможно с введением поправки на убыль икры в период развития.

В используемой на сегодня в КамчатНИРО методике оценки нерестового запаса по продукции выметанной икры суточная продукция находится как частное от деления общего количества учтенной на 1-й стадии икры на продолжительность этой стадии, т. е. фактически не учитывается убыль, а значит имеет место недооценка суточной продукции икры. Пик нереста устанавливается по максимальному количеству икры 1-й стадии в обловах, с учетом некоторого его запаздывания на шельфовом нерестилище. В период 2003–2013 гг. дата пика нереста восточно-камчатского минтая варьировала в промежутке 10–19 апреля.

В связи с этим, учитывая особенности вертикального распределения икры в каньонах, в настоящей работе сделана попытка определения коэффициентов убыли икры и суточной продукции по данным ихтиопланктонных обловов в «эпицентрах нереста». Необходимо отметить, что речь пойдет именно об *убыли икры из каньонов*, обусловленной всеми возможными причинами (естественная смертность, перенос течением, турбулентная диффузия).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Ихтиопланктонные пробы отбирали сетью ИКС-80 (газ № 14). В постоянных контрольных точках облавливали слой воды от дна до поверхности или от 700 м до поверхности (рис. 1). В период массового нереста выполнялись послойные обловы между горизонтами: 0, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 м. Скорость подъема сети составляла 0,5–0,6 м/с. Для фиксации проб использовали 4%-й формалин, затем просчитывали количество икринок. Для определения стадий развития икры использовали шкалу Т.С. Рассы (1933). Если количество икринок в пробе превышало 200 шт., то стадии развития определялись у 200 икринок.

Ихтиопланктонные обловы сопровождалось гидрологическими наблюдениями с помощью зондирующего комплекса SBE-19 CTD SEALOGGER, SBE-25 фирмы Sea-Bird Electronics, INC и Rincoprofiler ASTD-102. Средняя температура воды в разных каньонах в период эмбриогенеза определялась соответственно вертикальному распределению икры.

Продолжительность стадий развития рассчитывали по зависимостям, полученным А.В. Бусловым и Н.П. Сергеевой (2013).

Для описания динамики численности икры в каньонах мы использовали уравнение в частных производных (von Foerster, 1959):

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial x}{\partial \tau} &= -m(\tau, a)x(t, \tau) \\ x(t, 0) &= p(t, b), x(0, \tau) = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $x$  — плотность численности икринок (тыс. шт. под кв. м),  $t$  — время,  $\tau$  — возраст,  $m$  — функция, задающая темп убыли икры из каньонов,  $a, b$  — некоторые (в общем случае векторные) параметры, подлежащие определению. Функцией  $p$  в граничном условии задается кривая суточной продукции икры на 1-й стадии. Начальное условие ( $x(0, \tau)=0$ ) означает, что до начала календарного года икра не выметалась. Уравнение задает темп убыли икры со временем. Модели типа (1) широко используются для описания динамики численности живых организмов, от одноклеточных до млекопитающих.

Вид функций убыли  $m$  и суточной продукции  $p$  задан. Параметры  $a, b$  подлежат определению из условия наилучшего приближения модели к данным обловов в постоянных контрольных точках:

$$\sum_k \sum_l \lambda_l \left( \int_{\tau_{l-1}}^{\tau_l} x(t_k, \tau) d\tau - y_l(t_k) \right)^2 \rightarrow \min_{a, b} \quad (2)$$

где  $l$  — стадия икры,  $\lambda_l$  — весовые коэффициенты,  $\tau_l$  — промежуток времени от начала икрометания до окончания  $l$ -й стадии,  $\tau_{l-1} = 0$ ,  $y_l(t_k)$  — численность икринок на  $l$ -й стадии в момент времени  $t_k$  по данным съемок. Интеграл в формуле (2) выражает модельную численность икринок на  $l$ -й стадии в момент времени  $t_k$ , так как продолжительность стадий меняется в зависимости от температуры окружающей среды, а значит и времени.

В настоящей работе мы ограничиваемся простой моделью (1), в этом случае модельное уравнение имеет простое решение:

$$x(t, \tau) = \begin{cases} p(t - \tau, b) \cdot \exp\left(-\int_0^\tau m(\eta, a) d\eta\right), & t \geq \tau \\ 0, & t < \tau, \end{cases}$$

которое выражает закон экспоненциальной убыли численности икры из «эпицентров нереста».

Мы приняли, что коэффициент убыли  $m$  в каждый год для каждого каньона — постоянная величина. На самом деле это, конечно же, не так. Со временем икра всплывает, и ее убыль из каньонов возрастает. Но, по нашему мнению, и это показали предварительные расчеты, на 1-й и 2-й стадиях коэффициент убыли можно приближенно считать постоянным.

Кривую суточной продукции задали как в текущей методике оценки продукции икры, принятой в КамчатНИРО, а именно — пропорциональной плотности нормального распределения:

$$p(t) = \frac{P}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Такая форма продукционной кривой встречается у Сэвилла (Saville, 1956). Параметры этой функции имеют четкий смысл:  $P$  — общая продукция икры за сезон,  $a$  — дата пика нереста,  $\sigma$  — параметр, характеризующий продолжительность нереста.

Для восточноберингоморского минтая Пикель и Мегре (S.J. Picquelle and B.A. Megrey, 1993) использовали кривую суточной продукции следующего вида:

$$p(t) = \frac{Pb}{2\pi} (1 + \cos(b(t - \mu))),$$

параметры которой имеют схожий смысл. В нашем случае задача (1)–(2) определения неизвестных параметров  $m$ ,  $P$ ,  $a$ ,  $\sigma$  сводится к минимизации суммы квадратов отклонений модельных оценок численности икры от наблюдаемых:

$$\sum_k \sum_l \lambda_l \left[ -\frac{P}{2} \exp\left(\frac{m}{2}(m\sigma^2 - 2t_k + 2a)\right) \times \left( \operatorname{erf}\left(\frac{\tau_{l-1} + m\sigma^2 - t_k + a}{\sigma\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\tau_l + m\sigma^2 - t_k + a}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right) - y_l(t_k) \right]^2 \rightarrow \min_{P, m, a, \sigma}$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Убыль икринок минтая оценивалась разными исследователями, главным образом по данным ихтиопланктонных съемок. Так, у восточноберингоморского минтая на 1-й стадии развития гибнет 95,45% выметанной икры (Булатов, 1984). По данным Л.А. Лисовенко (2000), убыль икры минтая у Западной Камчатки для всей 1-й стадии аккумулируется значением 85,2%. Привалихин с соавторами (Привалихин и др., 2001) приводят среднюю суточную убыль икры североохотоморского минтая на 1-й стадии 33,4% при колебаниях от 0,6 до 85,2%. А.В. Буслов с соавторами (Буслов и др., 2004) рассчитали, что убыль икры восточнокамчатского минтая в 2003 г. за 1-ю стадию составляла 84,1%.

На рис. 2 представлено решение модельного уравнения (1) — плотность численности икры в «северном» каньоне в 2013 г. Вертикальные ломаные линии ограничивают продолжительность стадий. Если проинтегрировать плотность численности по возрасту по интервалу продолжительности какой-либо стадии, получим модельную численность на этой стадии. На рис. 3 представлены модельные оценки численности икры на первой и второй стадиях развития в 2013 г. в сравнении с данными ихтиопланктонных обловов. Форма кривой численности со временем отклоняется от кривой нормального распределения, так как из-за изменения температуры меняется продолжительность стадий.

Полученные значения параметров суточной продукции и коэффициентов убыли икры в глубоководных каньонах Авачинского залива в 2003–2013 гг. и их асимптотические стандартные ошибки представлены в таблице.

Пик икрометания в «северном» каньоне наступает, в среднем, на 8 суток раньше, чем в «центральном», и почти на 9 суток раньше, чем в «южном» каньоне. При этом продолжительность нереста в «северном» каньоне меньше, чем в двух других. Пик икрометания в «северном» каньоне наступает на 87–98 сутки, в среднем на 93 сутки года, т. е. приходится на 3–4 апреля, что вместе с учетом убыли икры существенно меняет наши представления о динамике интенсивности нереста. Среднепогодные значения коэффициентов мгновенной убыли на 1-й стадии развития для «северного» и «центрального» каньонов примерно равны (0,235 и 0,237 в сутки соответственно), сред-

немноголетний мгновенный коэффициент убыли для «южного» каньона существенно ниже (0,136/сут). Можно предположить, что причиной столь существенной разницы в среднемноголетних коэффициентах убыли между «южным» и другими каньонами может быть перенос икры в «южный» каньон.

Полученные оценки коэффициентов убыли икры в каньонах Авачинского залива оказались довольно близки к оценкам, полученным Пикель и Мегре (Picquelle, Megrey, 1993) для минтая пролива Шелихова (0,06–0,29 в сутки).

По полученным нами оценкам, среднемноголетнее значение аккумулятивной убыли икры за период развития на 1-й стадии в «северном» каньоне составляет 73,5%, в «центральном» — 74,8%, в «южном» — 57,8%.

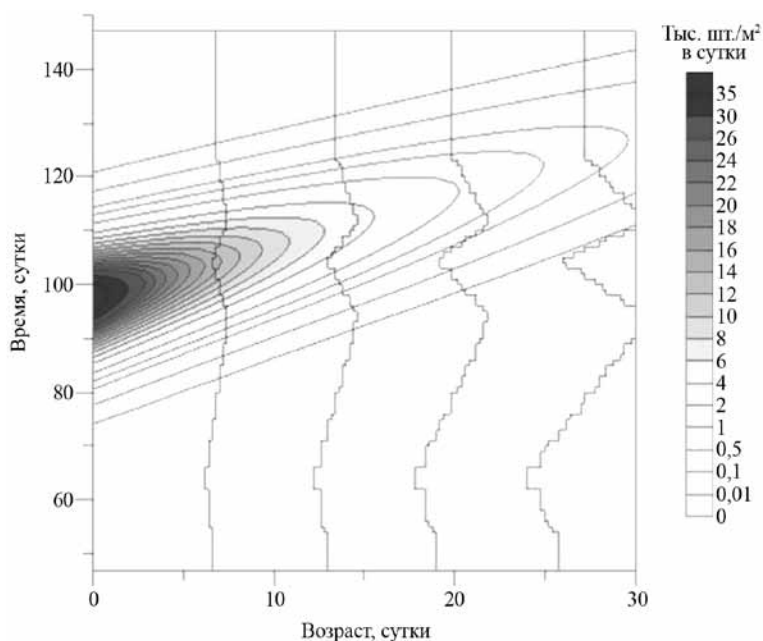


Рис. 2. Плотность численности икры минтая в «северном» каньоне в 2013 г.

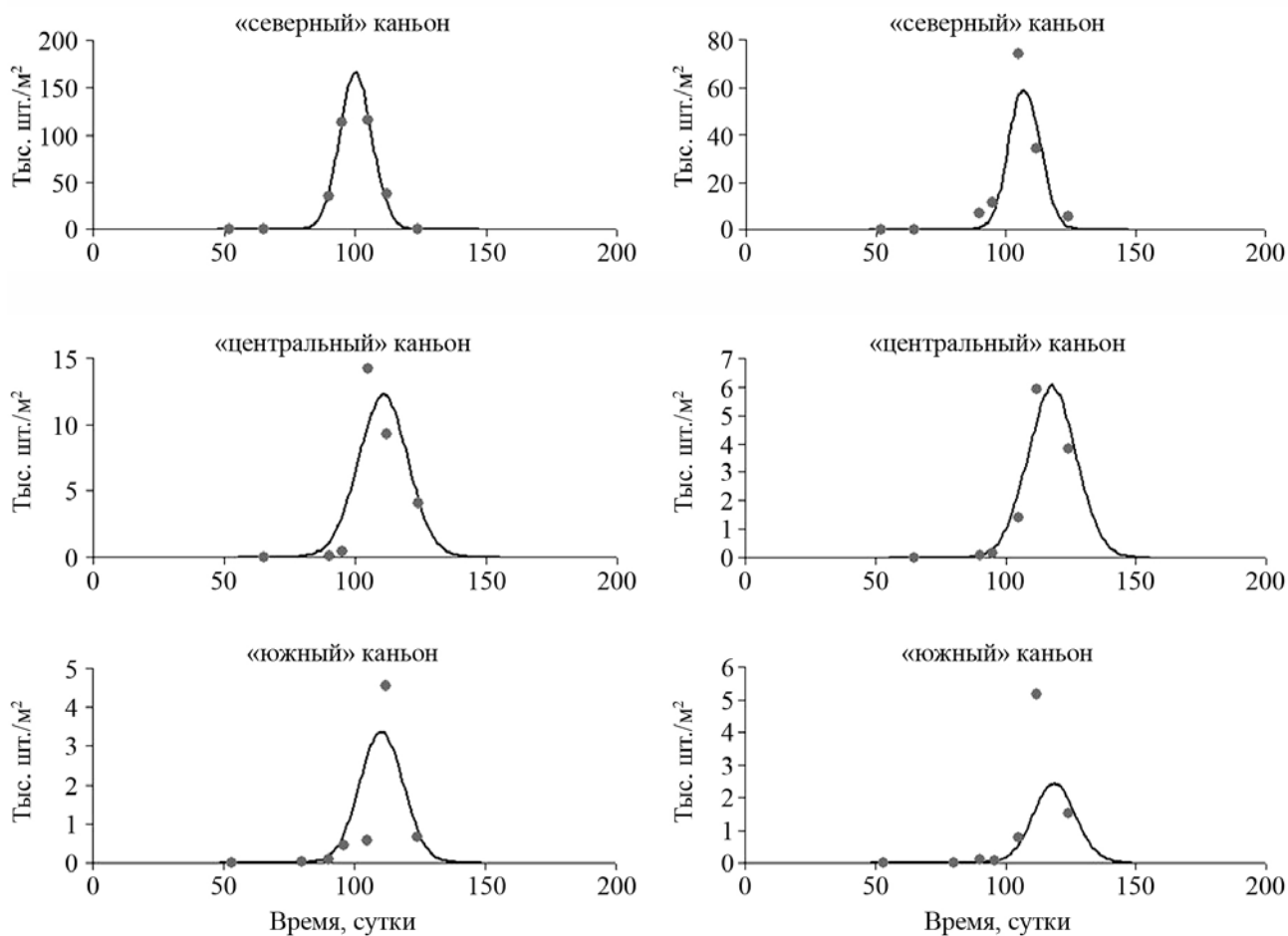


Рис. 3. Численность икры минтая первой (слева) и второй (справа) стадий в каньонах Авачинского залива в 2013 г.

Таблица. Коэффициенты мгновенной убыли и продукция икры восточнокамчатского минтая в эпицентрах нереста. Оценки параметров и их стандартные ошибки (SE)

Год	Каньон	Количество обловов	$P$ , тыс. шт./м <sup>2</sup>	$a$ , сутки	$\sigma$ , сутки	$m$ , 1/сутки
2003	«южный»	6	79,02	103,190	6,290	0,245
	(SE)		2,06	0,266	0,270	0,021
	«центральный»	6	394,18	100,496	5,159	0,426
	(SE)		2,45	0,040	0,048	0,011
	«северный»	6	463,54	96,419	4,764	0,311
	(SE)		7,72	0,128	0,284	0,015
2008	«южный»	12	111,38	96,404	6,668	0,109
	(SE)		4,92	0,468	0,551	0,012
	«центральный»	13	612,97	98,008	5,687	0,253
	(SE)		13,58	0,229	0,282	0,016
	«северный»	15	711,96	87,549	7,953	0,133
	(SE)		13,43	0,721	0,545	0,014
2009	«южный»	11	31,42	92,684	7,060	0,077
	(SE)		2,88	0,998	1,499	0,023
	«центральный»	10	151,15	89,803	8,235	0,159
	(SE)		7,05	0,592	0,913	0,022
	«северный»	10	1359,82	86,243	3,033	0,308
	(SE)		36,50	0,288	0,277	0,032
2010	«южный»	8	83,22	101,874	4,407	0,205
	(SE)		5,75	0,650	0,508	0,053
	«центральный»	8	240,95	97,657	8,150	0,199
	(SE)		16,97	1,128	0,843	0,041
	«северный»	8	2520,67	89,674	4,394	0,364
	(SE)		25,17	0,348	0,485	0,031
2012	«южный»	9	19,98	105,796	9,798	0,155
	(SE)		2,51	1,940	1,702	0,038
	«центральный»	9	165,07	108,595	6,184	0,295
	(SE)		9,29	0,683	0,849	0,044
	«северный»	9	493,57	96,706	9,064	0,147
	(SE)		17,33	1,215	1,279	0,020
2013	«южный»	7	9,27	106,485	8,126	0,030
	(SE)		1,94	2,806	2,686	0,031
	«центральный»	7	53,98	107,626	9,409	0,090
	(SE)		7,58	2,070	1,900	0,031
	«северный»	7	582,70	97,480	5,788	0,146
	(SE)		14,73	0,287	0,424	0,010
Среднее	«южный»	—	55,72	101,072	7,058	0,137
	«центральный»	—	269,72	100,364	7,137	0,237
	«северный»	—	1022,04	92,345	5,832	0,235

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью методов математического моделирования оценены общая продукция икры, дата пика икрометания, продолжительность нереста и коэффициенты убыли икры минтая в каньонах Авачинского залива в 2003–2013 гг.

Установлено, что пик икрометания в «северном» каньоне наблюдается на 8–9 суток раньше, чем в «центральной» и «южном», при этом продолжительность нереста в «северном» каньоне меньше, чем в двух других.

Среднемноголетние значения мгновенной убыли (коэффициенты убыли) икры на 1-й стадии развития для «северного» и «центрального» каньонов примерно равны (0,235/сут и 0,237/сут соответственно), среднемноголетняя мгновенная убыль для «южного» каньона существенно ниже (0,136/сут).

Аккумулятивная убыль икры за период развития на 1-й стадии в «северном» каньоне составляет 73,5%, в «центральной» — 74,8%, в «южном» — 57,8%.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны сотрудникам лаборатории морских промысловых рыб КамчатНИРО П.М. Починку, И.Ю. Спирину, С.А. Веселову, Д.Я. Саушкиной, проводившим обловы ихтиопланктона и обработку проб.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Буслов А.В., Тепнин О.Б. 2002. Условия нереста и эмбриогенеза минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) в глубоководных каньонах тихоокеанского побережья Камчатки // Вопр. ихтиологии. Т. 42, вып. 5. С. 617–625.

Буслов А.В., Тепнин О.Б., Дубинина А.Ю. 2004. Особенности экологии нереста и эмбриогенеза восточнокамчатского минтая // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 138. С. 282–298.

Буслов А.В., Сергеева Н.П. 2013. Эмбриогенез и раннее постэмбриональное развитие тресковых рыб дальневосточных морей // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 29. С. 5–69.

Булатов О.А. 1984. Распределение, численность ихтиопланктона и оценка запасов рыб восточной

части Берингова моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО, 24 с.

Лисовенко Л.А. 2000. Размножение рыб с прерывистым оогенезом и порционным нерестом на примере минтая Западной Камчатки. М.: ВНИРО, 111 с.  
Привалихин А.М., Варкентин А.И., Норвилло Г.В. 2001. Некоторые методологические подходы к оценке выживаемости икры минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas) Западной Камчатки в 1996–1998 годах // Вопр. рыболовства. Прилож. 1: Мат-лы Всерос. конф. «Ранние этапы развития гидробионтов как основа формирования биопродуктивности и запасов промысловых рыб Мирового океана». С. 230–237.

Расс Т.С. 1933. Инструкция по сбору и технике количественной обработки икры и мальков морских рыб. М.: ГОИН. 24 с.

Picquelle S.J., Megrey B.A. 1993. A preliminary spawning biomass estimate of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Shelikof Strait, Alaska, based on the annual egg production method // Bull. Mar. Sci. V. 53. P. 728–749.

Saville A. 1956. Egg and larvae of haddock (*Gadus aeglefinus* L.) of Faroe // Mar. Res. Scot., № 4. P. 27.

Von Foerster H. 1959. Some remarks on changing populations // The Kinetics of cellular proliferation. N.Y. P. 382–407.