

УДК 639.2.053.7

Оценка естественной смертности тресковых рыб (*Gadidae*) прикамчатских вод

О.И. Ильин¹, И.К. Трофимов¹, А.О. Золотов², Д.А. Терентьев¹, О.В. Новикова¹,
А.И. Варкентин¹

¹ Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО, г. Петропавловск-Камчатский)

² Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО, г. Южно-Сахалинск)

e-mail: ilin.o.i@kamnoro.ru

На примере промысловых видов тресковых рыб камчатского шельфа проиллюстрировано применение некоторых косвенных методов оценки мгновенных коэффициентов естественной смертности, опирающихся на значения параметров жизненного цикла.

Ключевые слова: коэффициент естественной смертности.

ВВЕДЕНИЕ

Смертность от естественных причин является одним из самых важных показателей для оценки запасов и управления ими. От величины естественной смертности зависят оценки ориентиров управления, оптимальной интенсивности промысла и в конечном счёте величина ОДУ. К сожалению, естественная смертность также является и одним из самых трудно поддающихся оценке популяционных параметров.

Из последних работ по естественной смертности тресковых прикамчатских вод можно выделить статьи В. П. Максименко и Н. П. Антонова [1994, 2002], где приведены оценки возраста по чешуе. Однако, известно, что уже более десяти лет возраст основных промысловых рыб этого семейства, таких, как навага, минтай и треска, определяется не по

чешуе, а по отолитам. Это значительно упрощает методику, даёт более адекватное представление об их возрасте и минимизирует разночтения с коллегами из других стран, которые традиционно определяют возраст по отолитам. Например, у минтая возраст рыб, определённый по чешуе, значительно меньше полученного по отолитам, а максимальный возраст рыб в камчатских популяциях, определённый двумя этими методами, может различаться почти на десять лет [Буслов, Варкентин, 2001 и др.]. Таким образом, в настоящее время назрела необходимость в пересчёте мгновенных коэффициентов естественной смертности (МКЕС) основных промысловых видов рыб прикамчатских вод. В настоящей работе мы оценили МКЕС тресковых несколькими из наиболее известных методов [Тюрин, 1972; Alverson, Carney, 1975; Рихтер, Ефанов, 1977;

Pauly, 1980; Зыков, Слепокуров, 1982; Зыкова, Зыков, 1989; Hoenig, 1983; Peterson, Wroblewski, 1984; Gunderson, Dygert, 1988; Chen, Watanabe, 1989; Lorenzen, 1996; Jensen, 1996].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В настоящей работе мы будем рассматривать только косвенные, эмпирические методы оценки коэффициентов естественной смертности. Существуют также прямые методы: по кривой улова, по съёмкам в смежные годы [Шибяев, 2007], по мечению [Hoenig et al, 1998a, b; Xiao, 1999], телеметрии [Heupel, Simpfendorfer, 2002]. Кроме перечисленных выше, могут быть использованы модельные подходы, когда МКЕС оцениваются внутри каких-либо, как правило, статистических когортных моделей. Оценки естественной смертности в моделях оценки запасов не всегда успешны и, вероятно, зависят от количества и типа доступных данных, от структурных особенностей модели, от возрастной структуры естественной смертности, которая моделируется.

Косвенные методы опираются на значения параметров, которые обычно доступны в биологических исследованиях, в том числе на средний возраст полового созревания, продолжительность жизни, размеры тела, параметры модели роста Бергаланффи [von Bertalanffy, 1938] — коэффициент роста Броуди К, асимптотические масса W_∞ и длина L_∞ . Существуют многочисленные исследования, в которых на основе уравнений регрессии получены соотношения между коэффициентами естественной смертности и параметрами жизненного цикла. Мы не будем здесь останавливаться на них, так как они подробно описаны в перечисленной выше литературе. Список методов оценки мгновенных коэффициентов естественной смертности, используемых в настоящей работе, представлен в табл. 1.

В расчётах использовался наиболее доступный набор входных данных: среднеголетние значения массы, длины и доли зрелых особей по возрастным группам, оценки предельного возраста. Кроме того, при оценке МКЕС восточно-камчатского и северо-охото-

Таблица 1. Методы оценки МКЕС

№	Источник	Соотношения
1	Тюрин [1972]	$\varphi(t) = \rho_1(t - t_m)^2 + \varphi_m, t \leq t_m;$ $\varphi(t) = \rho_2(t - t_m)^2 + \varphi_m, t \geq t_m$
2	Alverson, Carney [1975]	$M = \text{Const} = 3K / (\exp(0,25Kt_{\max}) - 1)$
3	Рихтер, Ефанов [1977]	$M = \text{Const} = 1,521/t_n^{0,720} - 0,155$
4	Pauly [1980]	$\text{Lg}(M) = \text{Const} = -0,2107 - 0,0824 \text{lg}(W_\infty) + 0,6757 \text{lg}(K) + 0,4627 \text{lg}(T)$
5	Hoenig [1983]	$M = \text{Const} = \exp(1,44 - 0,982 \ln(t_{\max}))$
6	Peterson, Wroblewski [1984]	$M = 1,92W^{-0,25}$
7	Зыков, Слепокуров [1986]	$\varphi(L) = aL^2 + bL + 1$
8	Gunderson, Dygert [1988]	$M = 0,03 + 1,68\text{GSI}$
9	Chen, Watanabe [1989]	$M = K / (1 - \exp(-K(t - t_0))), t \leq t_m;$ $M = K / (a_0 + a_1(t - t_m) + a_2(t - t_m)^2), t > t_m$
10	Jensen [1996]	1. $M = \text{Const} = 1,5K;$ 2. $M = \text{Const} = 1,65/t_m$
11	Lorenzen [1996]	$M = 3,00W^{-0,288}$

Обозначения: M — МКЕС; φ — убыль от естественных причин; φ_m — убыль в возрасте массового созревания; t — возраст рыб; L — длина рыб; W — масса рыб; W_∞ — асимптотическая масса; K — коэффициент роста Бергаланффи; t_m — возраст массового полового созревания (50%); t_n — возраст созревания 70% рыб; t_{\max} — продолжительность жизни; t_0 — условный нулевой возраст, при котором масса особи равна нулю; T — среднегодовая температура; GSI — гонадосоматический индекс; ρ_1, ρ_2, a, b — константы

морского минтая был использован индекс гонад GSI (GSI равен отношению массы гонад самки к массе её тела без внутренностей перед нерестом). Коэффициенты убыли по Тюрину и Зыкову затем были пересчитаны в мгновенные коэффициенты естественной смертности.

Коэффициенты уравнения Бергаланффи находили методом наименьших квадратов по данным о массе и длине особей по возрастным группам. По данным о доле половозрелых рыб также методом наименьших квадратов определяли параметры логистической кривой созревания и находили возраст созревания 50% и 70% рыб.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки естественной смертности минтая северной части Охотского моря, представленные в настоящей работе, оказались довольно близки к оценкам МКЕС восточно-охотоморского минтая из статьи Максименко и Антонова [1994]. Значения МКЕС тресковых, полученные нами по методам Зыкова и Тюрина, оказались несколько ниже, чем у Максименко и Антонова [2002]. Причина этого в том, что авторы указанной работы использовали данные, в которых возраст рыб определялся по чешуе, мы же используем оценки возраста по отолитам. Предельный возраст рыбы, определяемый по отолитам, как правило, выше, чем по чешуе. Поэтому значения естественной смертности по Тюрину в возрасте массового созревания, рассчитанные по нашим данным, меньше, и, следовательно, кривая смертности целиком проходит ниже.

Разброс оценок мгновенных коэффициентов естественной смертности, полученных методами, представленными в табл. 1, оказался достаточно велик (рис. 1). Наибольший размах значений M наблюдается в старших и младших возрастах. Связано это с тем, что одни методы устанавливают постоянную оценку МКЕС для всех возрастных групп, другие дают зависимость M от возраста, имеющую U-образную форму. Учитывая большой разброс оценок, в особенности для наваги и трески, в качестве окончательной оценки МКЕС, по нашему мнению, будет разумно принять их среднее арифметическое значение (табл. 2).

Результаты расчётов (табл. 2) показывают, что наименьшие значения МКЕС — у минтая,

наибольшие — у наваги, промежуточное место занимает треска. По нашим оценкам, внутривидовые различия в оценках естественной смертности у трески практически отсутствуют, в то время как у минтая и наваги заметны различия между запасами: в Охотском море уровень естественной смертности ниже. У минтая это обстоятельство, по нашему мнению, можно объяснить достоверной разницей в темпах роста [Буслов, 2005]. Различия в значениях МКЕС у наваги обусловлены разницей в темпе созревания — карагинская навага созревает на год раньше западно-камчатской.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в настоящей работе оценки мгновенных коэффициентов естественной смертности могут быть использованы при оценке запасов и прогнозировании возможного вылова тресковых.

К сожалению, разброс значений естественной смертности, полученных косвенными методами довольно большой, что делает их малоприменимыми при оценке запасов. Но, поскольку другие альтернативные оценки почти всегда отсутствуют, нельзя и отказываться от этих методов. Однако следует с осторожностью подходить к оценкам мгновенных коэффициентов естественной смертности косвенными методами.

ЛИТЕРАТУРА

- Буслов А. В., Варкентин А. И. 2001. Сравнительная характеристика оценок возраста и некоторых популяционных параметров минтая при использовании чешуи и отоликов // Изв. ТИНРО. Т. 128. С. 164–176.
- Буслов А. В. 2005. Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 224 с.
- Зыков Л. А., Слепокуров В. А. 1982. Уравнение для оценки естественной смертности рыб (на примере оз. Ендырь) // Рыбное хозяйство. № 3. С. 36–37.
- Зыкова Г. Ф., Зыков Л. А. 1989. Оценка естественной смертности рыб в разных возрастах // Тезисы докладов IV Всесоюзной научной конференции по проблемам долгосрочного прогнозирования. Мурманск: ВНИРО-ПИРО. С. 83–85.
- Максименко В. П., Антонов Н. П. 1994. Оценка и прогноз естественной смертности рыб по состоянию окружающей среды // Вопросы ихтиологии. Т. 34. № 2. С. 276–279.

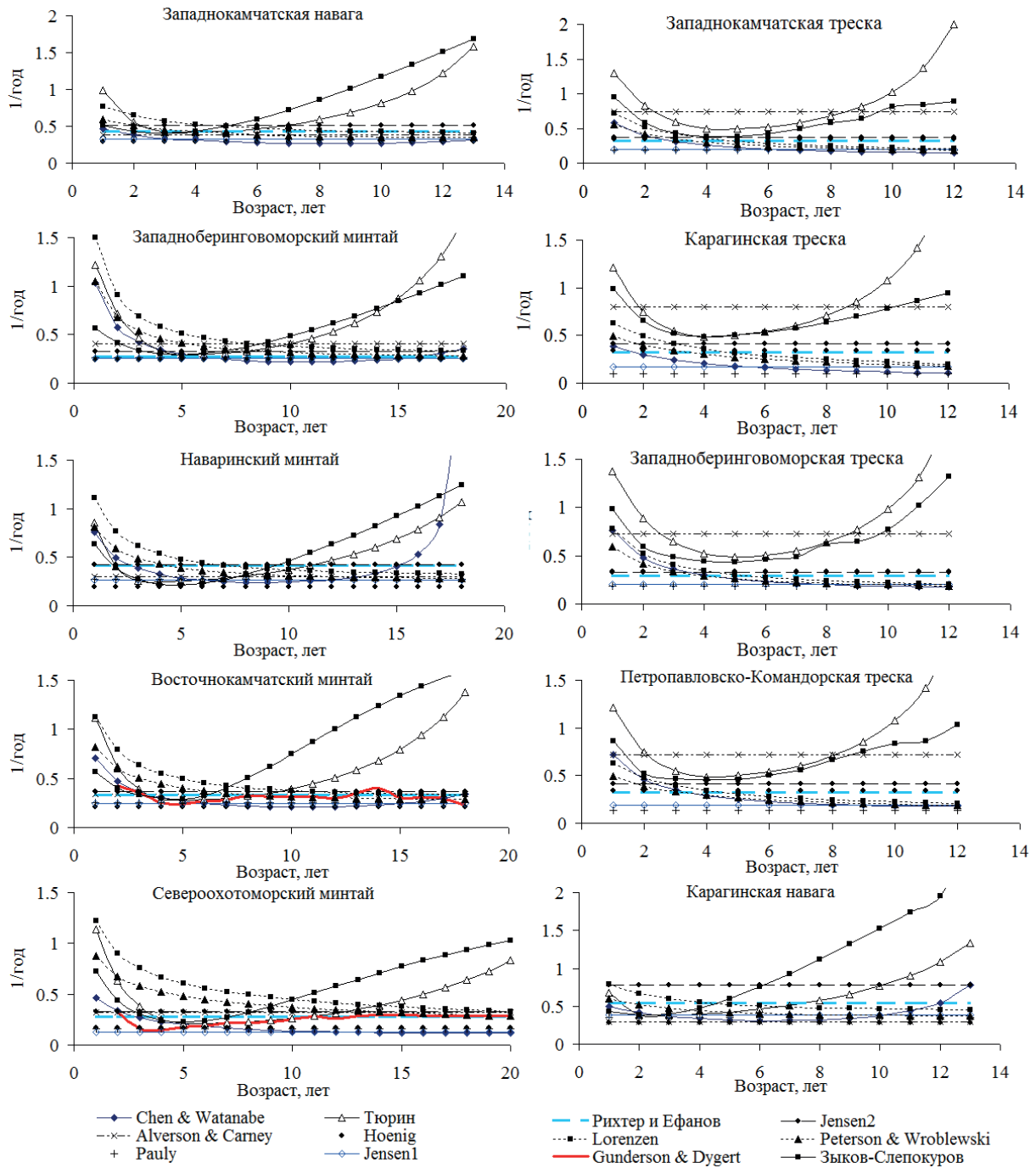


Рис. 1. Оценка мгновенных коэффициентов естественной смертности тресковых рыб косвенными методами

Таблица 2. Средние значения мгновенных коэффициентов естественной смертности

	Возраст, лет																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Минтай западно-берингово-морской	0,649	0,461	0,383	0,344	0,325	0,316	0,313	0,314	0,318	0,324	0,333	0,345	0,359	0,376	0,397	0,423	0,456	0,502		
Минтай восточно-камчатский	0,553	0,422	0,361	0,324	0,310	0,309	0,311	0,321	0,330	0,342	0,356	0,368	0,389	0,411	0,422	0,443	0,468	0,493		
Минтай нава-ринский	0,550	0,411	0,354	0,330	0,318	0,313	0,313	0,316	0,322	0,330	0,341	0,354	0,369	0,388	0,410	0,440	0,488			
Минтай северо-охотоморский	0,527	0,390	0,318	0,285	0,272	0,266	0,266	0,266	0,268	0,273	0,280	0,284	0,293	0,300	0,307	0,315	0,323	0,333	0,343	0,355
Навага карагинская	0,512	0,453	0,439	0,438	0,446	0,460	0,478	0,500	0,527	0,557	0,594	0,639	0,752							
Навага западно-камчатская	0,527	0,447	0,414	0,406	0,407	0,415	0,429	0,447	0,470	0,498	0,532	0,573	0,629							
Треска карагинская	0,531	0,430	0,382	0,361	0,355	0,355	0,361	0,371	0,388	0,412	0,448	0,511								
Треска западно-берингово-морская	0,597	0,453	0,393	0,362	0,348	0,345	0,347	0,363	0,375	0,404	0,455	0,538								
Треска петропавловско-командорская	0,549	0,429	0,383	0,363	0,355	0,356	0,362	0,377	0,396	0,421	0,453	0,524								
Треска западно-камчатская	0,569	0,444	0,387	0,359	0,349	0,348	0,355	0,367	0,383	0,416	0,447	0,507								

- Максименко В. П., Антонов Н. П. 2002. Оценка естественной смертности у морских промысловых популяций рыб камчатского шельфа // Вопросы рыболовства. Т. 3 (11). С. 450–462.
- Рихтер В. А., Ефанов В. Н. 1977. Об одном из подходов к оценке естественной смертности рыбных популяций // Тр. АтлантНИРО. Вып. LXXIII. 1977. С. 77–85.
- Тюрин П. В. 1972 «Нормальные» кривые переживания и темпов естественной смертности рыб как теоретическая основа регулирования рыболовства // Изв. ГосНИОРХ. Т. 71. С. 71–128.
- Шубаев С. В. 2007. Классификация методов оценки смертности рыб во внутренних водоёмах // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоёмах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л. А. Кудерского) / Под общ. ред. Д. И. Иванова. Сборник научных трудов. Вып. 337. СПб. — М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 39–70.
- Alverson D., Carney M. 1975. A Graphic Review of the Growth and Decay of Population Cohorts // Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. V. 36 (2). P. 133–143.
- Bertalanffy L. von. 1938. A Quantitative Theory Of Organic Growth // Human Biology. V. 10. № 1. P. 181–213.
- Chen S., Watanabe S. 1989. Age Dependence of Natural Mortality Coefficient in Fish Population Dynamics // Nippon Suisan Gakkaishi. V. 55. P. 205–208.
- Gunderson D. R., Dygert P. H. 1988. Reproductive Effort as a Predictor of Natural Mortality Rate // Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. V. 44. P. 200–209.
- Heupel M. R., Simpfendorfer C. A. 2002. Estimation of Mortality of Juvenile Blacktip Sharks, *Carcharhinus limbatus* within a Nursery are Using Telemetry Data // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 59. P. 624–632.
- Hoening J. 1983. Empirical Use of Longevity Data to Estimate Mortality Rates // Fishery Bulletin. V. 81. P. 893–903.
- Hoening J. M., Barrowman N. J., Hearn W. S., Pollock K. H. 1998. Multiyear Tagging Studies Incorporating Fishing Effort Data // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 55. P. 1466–1476.
- Hoening J. M., Barrowman N. J., Pollock K. H., Brooks E. N., Hearn W. S., Pollock T. 1998. Models for Tagging Data That Allow for Incomplete Mixing of Newly Tagged Animals // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 55. P. 1477–1483.
- Jensen A. 1996. Beverton and Holt Life History Invariants Result from Optimal Trade-Off of Reproduction and Survival // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 53. P. 820–822.
- Lorenzen K. 1996. The Relationship between Body Weight and Natural Mortality in Juvenile and Adult Fish: A Comparison of Natural Ecosystems and Aquaculture // Journal of Fish Biology. V. 49. P. 627–647.
- Pauly D. 1980. On the Interrelationships between Natural Mortality, Growth Parameters, and Mean Environmental Temperature in 175 Fish Stocks // Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. V. 39 (2). P. 175–192.
- Peterson I., Wroblewski J. 1984. Mortality Rate of Fishes in the Pelagic Ecosystem // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 41. P. 1117–1120.
- Xiao Y., Stevens J. D., West G. J. 1999. Estimation of Fishing and Natural Mortalities from Tagging Experiments with Exact or Grouped Times at Liberty // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 56. P. 868–874.

Estimation of Instantaneous Natural Mortality Rate of Gadidae Family of the Kamchatka Shelf

O. I. Ilin¹, I. K. Trofimov¹, A. O. Zolotov², D. A. Terentyev¹, O. V. Novikova¹, A. I. Varkentin¹

¹Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography (Petropavlovsk-Kamchatski)

²Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography (Yuzhno-Sakhalinsk)

e-mail: ilin.o.i@kamniro.ru

Some indirect methods has been used to estimate the instantaneous natural mortality rate of Gadidae family of the Kamchatka shelf.

Key words: natural mortality rate.