

Научная статья

УДК 597–152.6(282.257.583.1)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-535-549

EDN: JPWLEZ



МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ СМЕРТНОСТИ РЫБ ОЗЕРА ХАНКА

М.Е. Шаповалов, Д.Л. Шабельский*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Предлагается методика, позволяющая формализовать и уточнить процесс экспертной оценки основных параметров динамики численности популяций рыб (воспроизводства и убыли), запасы которых оцениваются косвенными методами, что может частично компенсировать существующие недостатки данных промысловой статистики. Предлагаемый метод основан на известных методиках и дает возможность использования полученных коэффициентов общей смертности в качестве индикаторов влияния промысла на эксплуатируемые популяции рыб, что позволяет рассматривать их как критерий оценки эффективности применяемых мер регулирования промысла.

Ключевые слова: оз. Ханка, промысловые рыбы, половое созревание, длина тела, коэффициенты смертности

Для цитирования: Шаповалов М.Е., Шабельский Д.Л. Методика оценки коэффициентов смертности рыб озера Ханка // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 3. — С. 535–549. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-535-549. EDN: JPWLEZ.

Original article

A method to estimate the mortality rate of fish in Lake Khanka

Maksim E. Shapovalov*, Dmitry L. Shabelsky**

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 690091, Vladivostok, 4, Shevchenko Alley

* Ph.D., leading researcher, maksim.shapovalov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-1172-1765

** leading specialist, dmitrii.shabelski@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-5019-4235

Abstract. A new methodic approach is proposed that allows to formalize and refine the expert assessments of the basic parameters of fish population dynamics obtained by indirect methods, such as reproduction and mortality rates, and to compensate partially gaps in fishery statistics. It is based on well-known results of Tyurin [1972], Richter and Yefanov [1977], and Zykov and Slepukurov [1982] concerning the total mortality rate dependence on fishing pressure in exploited fish populations. The mortality rate can be used as a criterion for effectiveness of fishery regulation measures.

Keywords: Lake Khanka, exploited fish population, sexual maturity, body length, mortality rate

* Шаповалов Максим Евгеньевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, maksim.shapovalov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-1172-1765; Шабельский Дмитрий Леонидович, ведущий специалист, dmitrii.shabelski@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-5019-4235.

© Шаповалов М.Е., Шабельский Д.Л., 2025

For citation: Shapovalov M.E., Shabelsky D.L. A method to estimate the mortality rate of fish in Lake Hanka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 3, pp. 535–549. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-535-549. EDN: JPWLEZ.

Введение

Оценки общей смертности рыб часто затруднены, с одной стороны, неполнотой или недостоверностью промысловой статистики, а с другой — трудностью получения информации о величине естественной смертности. В связи с этим все большее внимание уделяется разработке методов расчета параметров динамики численности, в частности коэффициентов естественной смертности, косвенными методами — по наиболее доступным и достоверным данным о темпах роста, возрасте наступления половой зрелости и динамике размерно-возрастного состава. При этом для сбора необходимых данных не требуется больших усилий и времени [Рихтер, Ефанов, 1977]. И хотя некоторые исследователи справедливо полагают, что следует с осторожностью подходить к таким оценкам [Ильин и др., 2014], мы считаем, что в условиях дефицита информации разработка таких методов необходима.

В бассейне оз. Ханка в настоящее время отсутствуют данные прямых учетных ихтиопланктонных съемок, в связи с чем нами предпринята попытка оценить смертность рыб косвенными методами. В настоящей работе применяются некоторые известные в литературе подходы к оценке естественной смертности рыб. Целью работы является адаптация подходов П.В. Тюрина [1972], В.А. Рихтера, В.Н. Ефанова [1977] и Л.А. Зыкова, В.А. Слепокурова [1982] для расчета коэффициентов естественной и общей смертности применительно к популяциям основных промысловых и массовых рыб оз. Ханка.

Материалы и методы

Использованы данные о росте и созревании 14292 экз. 20 видов рыб оз. Ханка, описанные ранее [Шаповалов, 2010; Шаповалов, Королева, 2013]. Возраст определялся по стандартным методикам по чешуе и спилам лучей грудного плавника у сомов и косаток [Правдин, 1966]. Динамика размерно-возрастного состава популяций рыб оз. Ханка оценивалась по данным промысловых и научных уловов за 1996–2024 гг. (более 30 тыс. экз.). Расчет коэффициентов естественной и общей смертности проводился с использованием программы Microsoft Excel. Расчет коэффициентов естественной смертности осуществлен по методикам П.В. Тюрина [1972] и В.А. Рихтера, В.Н. Ефанова [1977], применение которых было подробно рассмотрено на примере пеляди оз. Ендырь Л.А. Зыковым и В.А. Слепокуровым [1982].

П.В. Тюриным [1972] значения коэффициентов естественной смертности определяются графически. При расчете коэффициента естественной смертности в возрасте полового созревания (ϕ_n) он исходил из того, что коэффициенты естественной смертности, являясь знаменателем геометрических убывающих прогрессий численности рыб, связаны с предельным возрастом (T) U-образной зависимостью. Заданную в табличной форме зависимость между ϕ_n и T [Тюрин, 1972] для стандартной пробы (суммы членов прогрессии) в 1000 экз. для удобства вычислений описали уравнением

$$\phi_n = 4,77T^{-0,98} \text{ при } T > 6 \text{ [Зыков, Слепокуров, 1982].} \quad (1)$$

T определяли по уравнению

$$T = (l/p)^{1/q}, \quad (2)$$

где p и q — коэффициенты из уравнения линейного роста рыб вида $l = pt^q$, полученные при определении темпов роста исследуемых видов рыб оз. Ханка.

Определенные таким образом значения T и ϕ_n исследуемых рыб оз. Ханка представлены в табл. 1 и на рис. 1 (а, метод I).

В.А. Рихтер и В.Н. Ефанов [1977] на основе экспериментальных данных показали, что эмпирическая зависимость между возрастом массового полового созревания (t_m)

Таблица 1
Рассчитанные двумя способами значения мгновенного коэффициента естественной смертности M и коэффициента естественной смертности в возрасте массового полового созревания φ_n промысловых и массовых рыб оз. Ханка

Table 1
Values of the instantaneous coefficient of natural mortality M and the coefficient of natural mortality in the age of mass sexual maturity φ_n for commercial and mass fish species in Lake Khanka calculated in two ways

Вид	Длина, см		Возраст, годы			$\varphi_n = 4,77T^{-0,98}$ (метод I)		M	$\varphi_n = 1 - e^{-M}$ (метод II)	
	L_{max}	L_M	T_{max}	t_M	φ_n	%	%		φ_n	%
Амурская щука <i>Esox reichertii</i> Dybowski, 1869	101,0	48	10,0	4	0,50	50	0,50	0,50	0,33	33
Серебряный карась <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	38,0	21	12,0	4	0,42	42	0,57	0,33	0,33	33
Амурский сазан <i>Cyrpinus rubrofasciatus</i> LaCepede, 1803	93,0	40	17,0	6	0,30	30	0,43	0,23	0,23	23
Амурский сом <i>Parasilurus asotus</i> (Linnaeus, 1758)	128,0	55	15,0	4	0,34	34	0,50	0,33	0,33	33
Пятнистый конь <i>Hemibarbus maculatus</i> Bleeker, 1871	38,5,0	23	12,0	4	0,42	42	0,43	0,33	0,33	33
Монгольский краснопер <i>Chanodichthys mongolicus</i> (Basilewsky, 1855)	65,0	29	11,0	5	0,45	45	0,43	0,28	0,28	28
Мелкопешуйный желтопер <i>Plagiognathops microlepis</i> (Bleeker, 1871)	56,0	32	13,0	4	0,39	39	0,42	0,33	0,33	33
Горбушка <i>Chanodichthys oxycerphalus</i> (Bleeker, 1871)	42,5	22	11,0	5	0,45	45	0,50	0,28	0,28	28
Уклея <i>Culter alburnus</i> Basilewsky, 1855	35,0	26	10,0	5	0,50	50	0,50	0,28	0,28	28
Черный амурский лещ <i>Megalobrama</i> sp.	58,0	32	12,0	5	0,42	42	0,50	0,28	0,28	28
Корейская востробрюшка <i>Hemiculter leucisculus</i> (Basilewsky, 1855)	19,5	13	6,0	3	—	—	0,77	0,41	0,41	41
Верхоглаз форма 1 (озерный)* <i>Chanodichthys erythropterus</i> (Basilewsky, 1855)	110,0	45	19,4	6	0,26	26	0,26	0,23	0,23	23
Верхоглаз форма 2*	71,0	50	13,2	7	0,38	38	0,21	0,20	0,20	20
Верхоглаз тугорослый*	45,0	25	8,4	4	0,59	59	0,46	0,33	0,33	33
Белый амурский лещ <i>Parabramis pekinensis</i> (Basilewsky, 1855)	53,0	30	15,0	5	0,34	34	0,46	0,28	0,28	28
Уссурийская востробрюшка <i>Hemiculter lucidus</i> (Dybowski, 1872)	18,5	13	6,0	3	—	—	0,77	0,41	0,41	41
Белый толстолобик <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)	102,0	65	12,0	6	0,42	42	0,32	0,23	0,23	23
Подуст-чернобрюшка <i>Xenocypris macrolepis</i> (Bleeker, 1871)	32,0	20	6,0	4	—	—	0,53	0,33	0,33	33
Судак <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	72,5	30	10,0	4	0,50	50	0,43	0,33	0,33	33
Косатка-скрипун <i>Tachysurus sinensis</i> Lacépède	31,0	20	10,0	4	0,50	50	0,50	0,33	0,33	33
Амурский змеетолов <i>Channa argus</i> (Cantor 1842)	80,0	40	16,0	3	0,32	32	0,53	0,41	0,41	41
Ящерный пескарь <i>Saurogobio dabryi</i> Bleeker, 1871	26,5	15	10,0	3	0,50	50	0,77	0,41	0,41	41

Примечание. T_{max} и L_{max} — соответственно максимальные расчетные возраст и длина, t_M и L_M — возраст и длина в возрасте массового (более 50 %) полового созревания.
* По данным М.Е. Шаповалова [2010].

и величиной мгновенного коэффициента естественной смертности в этих возрастах (М) справедлива для уравнения

$$Y = 1,521/X^{0,72} - 0,155, \quad (3)$$

где Y — величина естественной мгновенной смертности (М); X — возраст массового полового созревания (t_m).

Рассчитанные значения М представлены в табл. 1.

При этом В.А. Рихтером и В.Н. Ефановым [1977] отмечается, что точность оценок, полученных с помощью предложенного ими эмпирического уравнения, определяется степенью достоверности исходных данных и метод может применяться только для локальных популяций, когда установлен возраст массового (более 50 %) созревания особей в популяции.

Коэффициент естественной смертности в возрасте массового полового созревания вычисляется по формуле, предложенной Л.А. Зыковым и В.А. Слепокуровым [1982]:

$$\phi_n = 1 - e^{-M}. \quad (4)$$

Определенные таким образом значения ϕ_n исследуемых рыб оз. Ханка представлены в табл. 1 и на рис. 1 (б, метод II).

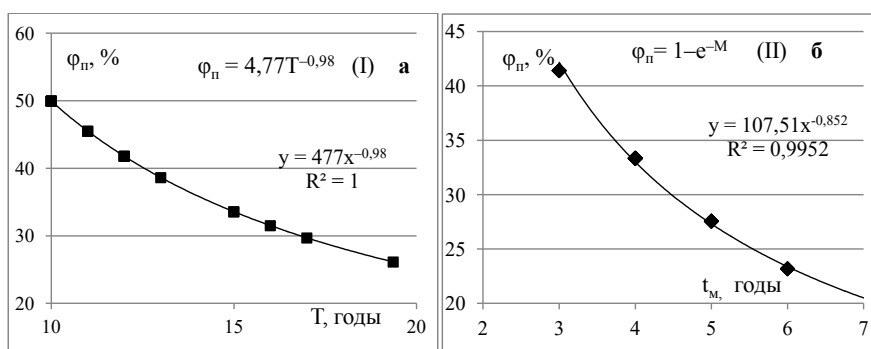


Рис. 1. Рассчитанные двумя способами коэффициенты естественной смертности: по методу П.В. Тюрин [1972] (а, метод I) и Л.А. Зыкова и В.А. Слепокурова [1982] (б, метод II) для рассматриваемых видов рыб оз. Ханка: T — расчетный максимальный возраст; t_m — возраст массового полового созревания

Fig. 1. Natural mortality rates for fish species in Lake Khanka calculated in two ways: а) by the method of P.V. Tyurin [1972]; б) by the method of Zykov and Slepokurov [1982]. T — estimated maximum age; t_m — age of mass sexual maturity

Результаты и их обсуждение

Л.А. Зыков и В.А. Слепокуров [1982] предложили определять коэффициент естественной смертности ϕ_m аналитически, опираясь на числовое отношение длины рыб, достигших полового созревания, l_m к максимальной длине рыб L в популяции. При этом формула имеет вид квадратичной функции:

$$\phi_m = aL^2 + bL + c, \quad (5)$$

где L — длина рыбы; a , b , c — коэффициенты.

Используя уравнение зависимости коэффициентов естественной смертности от длины **амурского сазана**, воспользуемся формулой (5) и построим график функции, отражающий изменение коэффициентов естественной смертности ϕ_m от длины сазана, в виде параболы. Для этого необходимо определить минимальную и максимальную длину сазана, при которой ϕ_m будет близка к 1.

Известно, что формирование численности поколений рыб начинается на стадии оогенеза. В течение последующего периода раннего онтогенеза рыб до перехода на внешнее питание отмечают несколько критических этапов, на которые приходится самая высокая смертность [Журавлёва, 2009]. При этом, согласно рыбоводным нор-

мативам, диапазон допустимых потерь рыболовной продукции на отдельных этапах выращивания молоди растительноядных рыб может достигать значительных величин: количество самок, отдавших некачественную икру, — 20 %; количество неоплодотворенной икры — 10 %; отход икры за период инкубации — 30 %; отход за период выдерживания — 60 %; потери за период выращивания молоди — 70 % [Бурлаченко, Яхонтова, 2015]. Для карповых показатель оплодотворенности икры составляет 78–89 %, а выживаемость личинок в нормальных условиях может достигать 60–70 % [Рыжков, 1987]. Таким образом, коэффициент смертности личинок карповых рыб в почти идеальных условиях рыбоводства — 30–70 %.

В связи с этим за исходную точку для построения параболы мы принимаем длину сазана при переходе на внешнее питание (стадия развития малек), которая составляет около 1 см [Крыжановский и др., 1951]. Смертность молоди сазана на ранних этапах развития (до перехода на внешнее питание) в естественных условиях оз. Ханка по нашей экспертной оценке составляет 99,9 %.

Смертность в возрасте массового полового созревания, которое у сазана наступает в 6 лет при длине 40 см, — 23 % (табл. 1). Третью точку, необходимую для построения параболы, получаем, воспользовавшись свойством симметричности функции параболы. При построении графика этой теоретической функции максимальная длина сазана, при которой коэффициент естественной смертности φ_M приближается к 1, была равна 80 см (рис. 2).

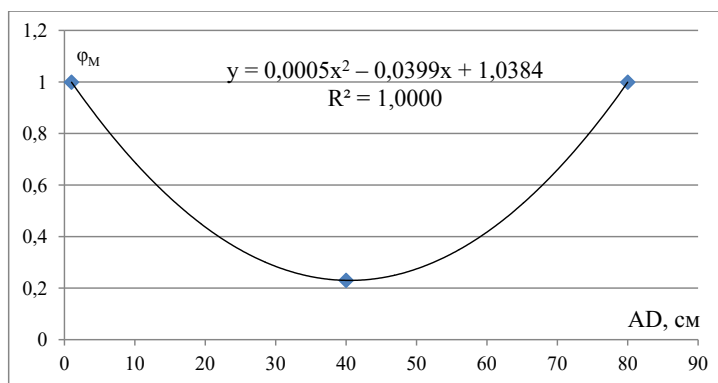


Рис. 2. График зависимости коэффициента естественной смертности φ_M от длины сазана L (AD, см)

Fig. 2. Natural mortality rate φ_M dependence on body length L (AD, cm) for amur carp

Полученная линия показывает зависимость естественной смертности φ_M от длины сазана L :

$$\varphi_M = 0,0005L^2 - 0,0399L + 1,0384. \quad (6)$$

Используя полученную формулу и рассчитанный из эмпирических данных размерно-возрастной ключ, построим графики распределения коэффициентов естественной смертности сазана оз. Ханка по возрасту и по длине (рис. 3, 4, табл. 2).

Принимая во внимание, что рыбы младших возрастов промысловому воздействию практически не подвергаются, левая часть графика зависимости смертности от возраста (рис. 3) от 0 до 5 лет рассматривается в наших расчетах как соответствующая реально происходящим демографическим процессам в популяциях рыб в оз. Ханка на ранних стадиях развития и отражающая естественную смертность до вступления в промысел.

Промысловому изъятию в популяции сазана в оз. Ханка подвергаются особи начиная с возраста 6 лет, что соответствует длине около 40 см, поэтому правая часть этого графика от 6 лет и далее должна быть пересчитана с учетом промысловой смертности. Влияние промысловой смертности на естественную смертность сазана неиз-

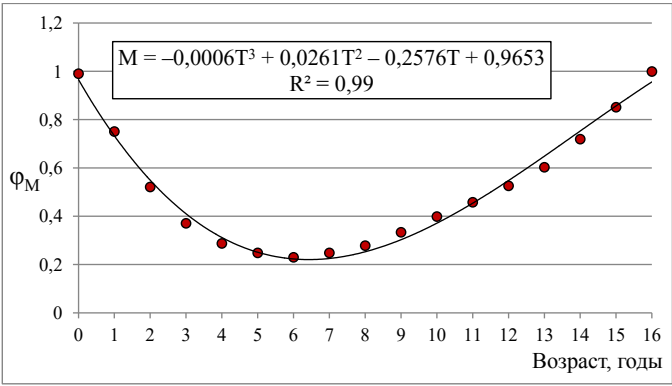


Рис. 3. Зависимость коэффициентов естественной смертности φ_M от возраста сазана T
Fig. 3. Natural mortality rate φ_M dependence on age T for amur carp

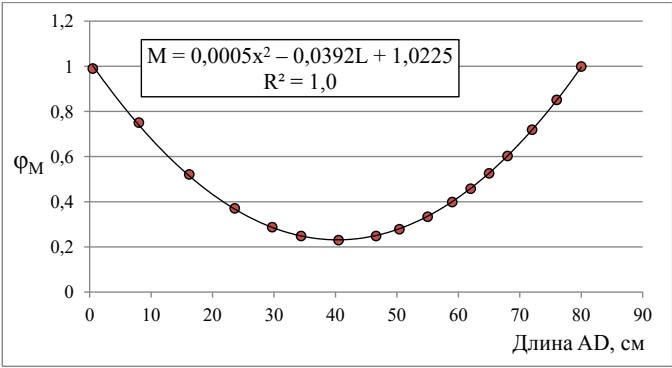


Рис. 4. Зависимость коэффициентов естественной смертности φ_M от длины сазана AD
Fig. 4. Natural mortality rate φ_M dependence on lifespan of amur carp

Таблица 2
Значения коэффициентов естественной смертности φ_M размерно-возрастных классов сазана оз. Ханка

Table 2
Natural mortality rate φ_M of amur carp in Lake Khanka, by size and age classes

Возраст, годы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
L (AD), см	0,5	8	16,2	23,6	29,7	34,4	40,5	46,6	50,4	55	59	62	65	68	72	76	80
M, %	0,99	0,75	0,52	0,37	0,29	0,25	0,23	0,25	0,28	0,33	0,40	0,46	0,53	0,60	0,72	0,85	1,00

вестно, поэтому рассматриваем правую часть кривой как сумму естественной (φ_M) и промысловой (φ_F) смертности — общую смертность φ_z .

Для расчета распределения коэффициентов общей смертности с 6 лет до максимального возраста использованы данные о размерах и возрасте сазана в промысловых уловах (табл. 3).

Максимальным возрастом рыб в уловах принят тот, после которого доля рыб более старших возрастов в сумме не превышает 1 % от всех рыб в улове. Максимальный возраст сазана в уловах, таким образом, определен в 13 лет (табл. 3).

Однако установления точки предельного возраста недостаточно для построения кривой распределения φ_z в старших возрастах. При проведении расчетов численности поколений от возраста массового созревания (100 %) до почти полного исчезновения (менее 1 %) при заданном значении максимального возраста выяснилось, что ни прямое, ни параболическое распределение φ_z не подходит, так как при указанных типах распределения функции смертности от возраста численность поколений снижается до

Таблица 3
Возрастной состав промысловых уловов сазана в оз. Ханка за 2020–2024 гг., %

Table 3
Age composition of amur carp in commercial catches in Khanka Lake in 2020–2024, %

Год	Возраст, годы														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2020	1,2	1,2	11,9	13,1	16,7	13,1	8,3	4,8	3,6	7,1	9,5	8,3	–	1,2	–
2021	–	–	1,5	4,6	15,8	44,4	18,1	6,6	3,5	1,9	1,9	1,2	–	0,5	–
2022	–	–	–	3,2	24,1	30,5	22,0	6,4	5,3	2,7	2,1	2,1	0,5	1,1	–
2023	–	–	0,8	5,5	27,4	30,5	19,8	8,9	6,0	0,5	0,3	0,3	–	–	–
2024	–	–	2,1	13,8	23,8	36,7	10,7	7,1	2,6	1,2	0,9	0,2	0,2	0,5	0,2
Среднее	1,2	1,2	4,1	8,0	21,6	31,0	15,8	6,7	4,2	2,7	2,9	2,4	0,4	0,8	0,2

ноля раньше, чем поколение достигает предельного возраста 13 лет. Форма функции распределения естественной смертности в зависимости от возраста была принята как одновершинная, U-образная, с резким увеличением смертности в начале и конце жизни рыб [Тюрин, 1972]. Дальнейший анализ показал, что заданным параметрам распределения φ_z для старших возрастов наиболее всего отвечает функция полинома 3-й степени вида:

$$y_t = ax^3 + bx^2 + cx + d, \tag{7}$$

где y_t — общая смертность φ_z в возрасте t (%), а x — длина сазана (AD, см) в возрасте t ; a, b, c, d — коэффициенты, которые были подобраны автоматически с использованием функции «Подбор параметра» в Microsoft Excel (табл. 4).

Такой же подход к расчету коэффициентов уравнения был применен в работе Н.А. Шиловой и А.В. Семушина [2011]. Для этого в каждом возрастном классе определялось среднее значение доли рыб (D), доживших от возраста перед началом промысла (5 лет) до предельного возраста 13 лет. Далее строилась оптимизационная задача: поиск коэффициентов a, b, c и d для уравнения, при которых минимизируется разница между расчетной величиной выживших рыб к предельному возрасту ($D_{\text{расч}}$) и рассчитанная на предыдущем этапе доля рыб (D):

$$|D - D_{\text{расч}}| \rightarrow \min. \tag{8}$$

При использовании функции «Подбор параметра» применялись ограничения, накладываемые на результирующую функцию. Первая группа ограничений предназначена для обеспечения одновершинности кривой: минимальное значение смертности рассчитано для возраста массового созревания гонад (см. табл. 1), и в последующие годы жизни рыб величина естественной смертности увеличивается. Величины смертности для текущего возраста, большего, чем возраст массового полового созревания, больше соответствующих величин предыдущего возраста:

$$\varphi_T > \varphi_{T-1}. \tag{9}$$

Вторая группа ограничений: распределение коэффициентов смертности должно иметь U-образный вид, где максимальные величины смертности наблюдаются на первом и на последних годах жизни. Дополнительное ограничение для предельного возраста сазана: общая смертность (φ_z) в предельном возрасте равна 100 %.

Рассчитанные коэффициенты естественной (возраст 1–16 лет) и общей (возраст 6–13 лет) смертности сазана оз. Ханка представлены на рис. 5. Как видно, коэффициенты общей смертности выше, чем

Таблица 4
Коэффициенты уравнения (7), рассчитанные с использованием функции «Подбор параметра» в Microsoft Excel

Table 4
Coefficients of equation (7) fitted with the Select Parameter function in Microsoft Excel

Коэффициент	Значение
a	0,302955
b	–6,36207
c	44,23166
d	–65,4138

рассчитанные коэффициенты естественной смертности (φ_M), что, по нашему мнению, отражает влияние промысла на динамику численности интенсивно эксплуатируемой популяции сазана оз. Ханка.

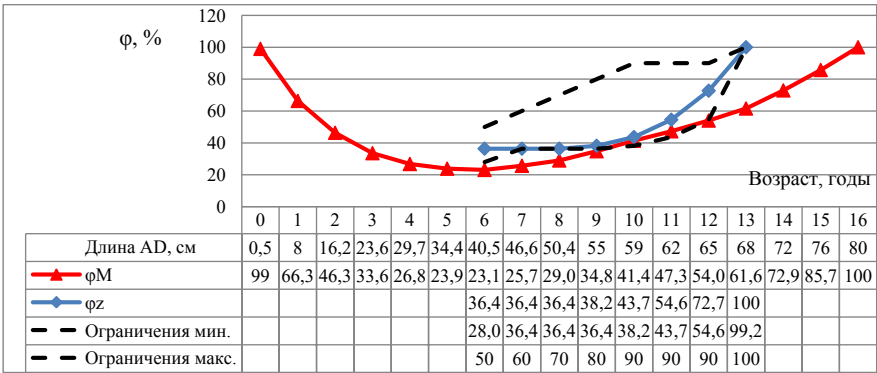


Рис. 5. Распределение значений смертности сазана оз. Ханка по возрастам: φ_M — коэффициенты естественной смертности в возрасте 1–16 лет; φ_z — коэффициенты общей смертности в возрасте 6–13 лет

Fig. 5. Natural and total mortality rate of amur carp in Lake Khanka, by age classes: φ_M — natural mortality rate at the age of 1–16 years; φ_z — total mortality rate at the age of 6–13 years

Аналогичным образом были рассчитаны значения коэффициентов смертности для ряда основных промысловых видов рыб в оз. Ханка (рис. 6–13).

Серебряный карась в оз. Ханка достигает длины (AD) 38 см и массы 1,5 кг. Средняя длина (AD) в уловах — 19–24 см, масса — 230–450 г. Половозрелость в оз. Ханка наступает при достижении длины (AD) около 18–23 см в возрасте 3+...5+ лет [Горяинов и др., 2014].

Согласно Приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 6 мая 2022 г. № 285 «Об утверждении Правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна» (с изменениями и дополнениями в редакции от 10.03.2023 г.) промысловая длина карася в оз. Ханка (AC) — 20 см, что соответствует возрасту 5 лет (табл. 5).

Как видно на рис. 6, распределения расчетных коэффициентов естественной и общей смертности практически совпадают. Это может свидетельствовать о незначительном влиянии промысла на состояние популяции карася в оз. Ханка, что подтверждается данными о промысле этого вида.

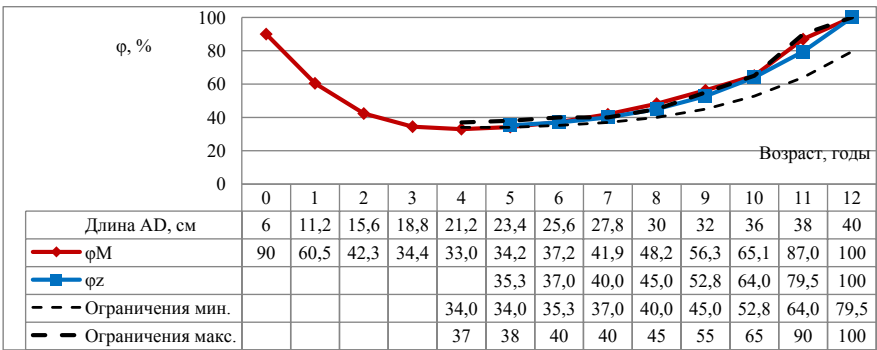


Рис. 6. Распределение значений смертности серебряного карася оз. Ханка по возрастам
Fig. 6. Mortality rate of silver carp in Lake Khanka, by age classes

Амурская щука в оз. Ханка достигает длины более 100 см и массы 10,5 кг. Средняя длина в промысловых уловах в озере составляет 51 см, масса 1,5 кг. Половозрелость в оз. Ханка наступает иногда уже в возрасте 2+ лет, но в основной массе щука созревает

Таблица 5

Промысловый размер водных биоресурсов при осуществлении промышленного и (или) прибрежного рыболовства во внутренних водах Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации (с сокращениями)
(Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 мая 2022 г. № 285)

Table 5

Commercial size established for industrial and (or) coastal fishing of aquatic biological resources in the internal waters of the Russian Federation, excluding the internal sea waters
(from: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated May 6, 2022 No. 285)

№	Вид водных биоресурсов	Промысловый размер*, не менее (см)
1	Сазан в бассейне р. Амур и оз. Ханка	42
2	Карась в р. Амур и в бассейне оз. Ханка	20
3	Щука в водных объектах Приморского края	60
4	Сом пресноводный	50
5	Конь	20
6	Верхогляд	60
7	Краснопер монгольский	30
8	Горбушка	20
9	Судак**	—

* Промысловый размер водных биоресурсов определяется в свежем виде у рыб путем измерения длины от вершины рыла (при закрытом рте) до основания средних лучей хвостового плавника.

** Промысловый размер не установлен.

в возрасте 3+...4+ лет при длине около 35–40 см [Горяинов и др., 2014]. В уловах отмечаются особи с возраста 4 лет, что соответствует промысловой длине 60 см (табл. 5).

Распределения расчетных коэффициентов естественной и общей смертности практически совпадают (рис. 7), что подтверждает незначительность влияния промысла на состояние популяции амурской щуки в оз. Ханка, и это отмечается многолетними данными промысловой статистики.

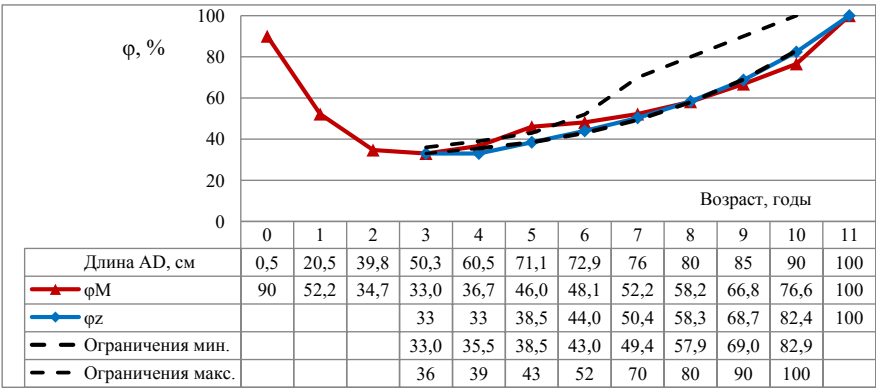


Рис. 7. Распределение значений смертности щуки амурской оз. Ханка по возрастам
Fig. 7. Mortality rate of amur pike in Lake Khanka, by age classes

Амурский сом в оз. Ханка достигает длины (АД) 118 см и массы 17 кг. Средняя длина (АД) в уловах — 50–60 см, масса — 1,5–2,0 кг, самок — 56,0 см и 1,8 кг, самцов — 46,6 см и 1,1 кг. Половозрелость сома в оз. Ханка наступает при достижении длины (АД) около 35 см в возрасте 3+, но в основном в 4+ [Горяинов и др., 2014]. В уловах отмечаются особи с возраста 4 лет, что в общем соответствует промысловой длине 50 см (табл. 5).

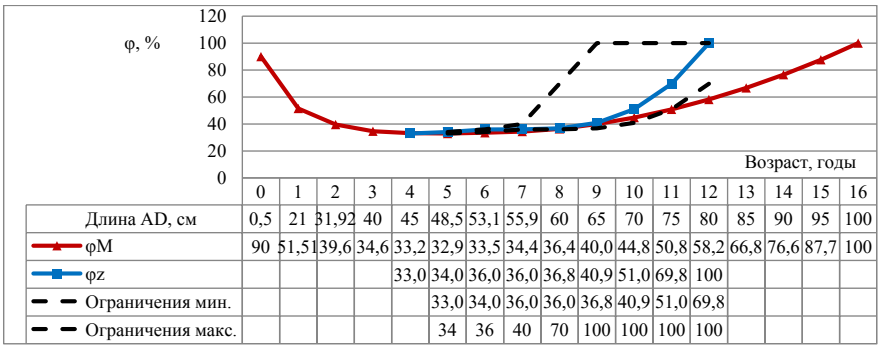


Рис. 8. Распределение значений смертности амурского сома оз. Ханка по возрастам
Fig. 8. Mortality rate of amur catfish in Lake Khanka, by age classes

Как видно на рис. 8, распределение расчетных коэффициентов общей смертности выше, чем естественной, что может указывать на заметное влияние промысла, снижающее численность старших возрастных групп в популяции амурского сома в оз. Ханка.

Пятнистый конь в оз. Ханка достигает длины (AD) 27 см и массы 390 г. Средние размеры в уловах — 22,9 см, масса — 244 г, самок — 22,7 см и 238 г, самцов — 23,0 см и 247 г. Половозрелым становится иногда на четвертом, но в основном на пятом году жизни (4+) [Горяинов и др., 2014], в этом же возрасте достигает промысловых размеров (табл. 5).

Промыслом затрагиваются старшие возрастные группы популяции пятнистого коня оз. Ханка (рис. 9), что соответствует имеющимся данным промысловой статистики.

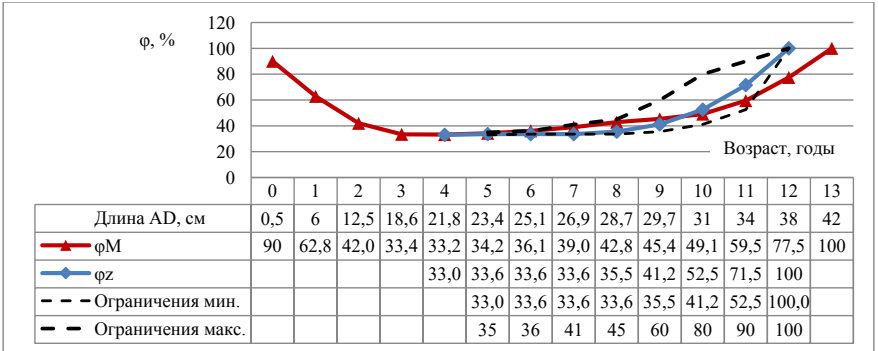


Рис. 9. Распределение значений смертности пятнистого коня оз. Ханка по возрастам
Fig. 9. Mortality rate of spotted steed in Lake Khanka, by age classes

Верхогляд. Установлено, что в оз. Ханка обитают 3 формы верхогляда, различающиеся темпом роста и рядом особенностей биологии [Шаповалов, 2010] (табл. 6). При этом в промысловых уловах верхогляд озерной и речной форм не разделяется, а тугорослый промыслом не осваивается. В связи с этим размерно-возрастной состав и общая смертность в уловах определялись для верхогляда озерной формы как наиболее массовой и быстрорастущей (табл. 6).

Анализ распределения коэффициентов смертности верхогляда в оз. Ханка (рис. 10) показывает, что промысел оказывает заметное воздействие на смертность в старших возрастных группах озерной и речной форм.

Монгольский краснопер в оз. Ханка достигает длины (AD) 54 см и массы 2 кг. Средняя длина (AD) в уловах — 30,0–33,0 см, масса — 0,5–0,6 кг, самок — 35,8 см и 700 г, самцов — 33,7 см и 550 г. Половозрелость краснопера в оз. Ханка наступает при

Таблица 6
Размеры и возраст созревания верхогляда разных форм оз. Ханка [Шаповалов, 2010]
Table 6
Size and age of maturation for certain forms of predatory carp-skygazer in Lake Khanka [Shapovalov, 2010]

Параметр	Пол	Озерная (форма 1)	Речная (форма 2)	Тугорослая (форма 3)
Минимальный размер созревания (AD), см	Самки	42	33,5	18,5
	Самцы	40	22,5	17,3
Минимальный возраст созревания, годы	Самки	5	4	3
	Самцы	4	3	3
Возраст массового созревания, годы	Самки	6	8	4
	Самцы	5	7	4
Размер массового созревания (AD), см	Общее	40–50	45–55	20–25
Максимальный размер, см	Общее	110	71	45
Максимальный возраст, годы	Общее	20	15	12

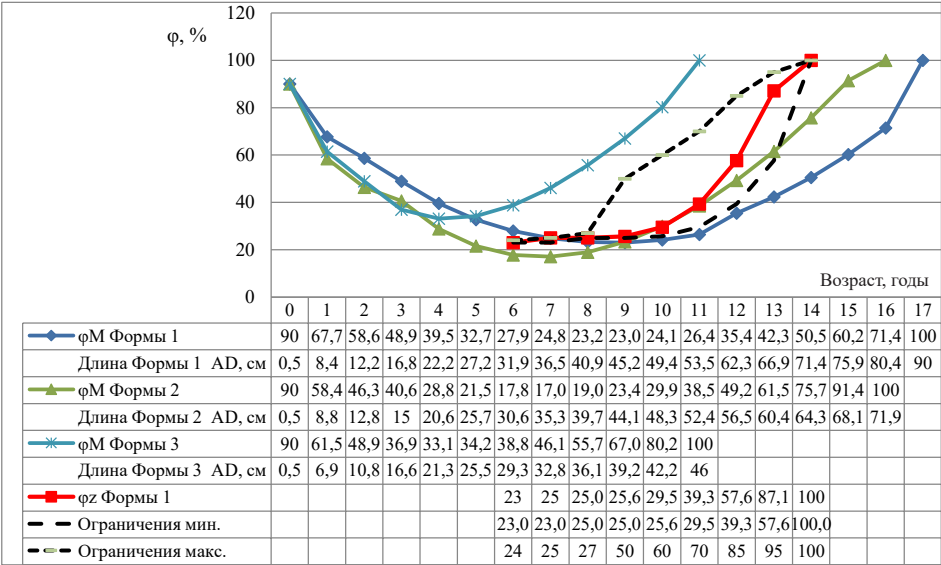


Рис. 10. Распределение значений смертности разных форм верхогляда оз. Ханка по возрастам
Fig. 10. Mortality rate for certain forms of predatory carp-skygazer in Lake Khanka, by age classes

достижении длины (AD) около 25–30 см в возрасте 4+ [Горяинов и др., 2014]. Промысловый размер 30 см (см. табл. 5), возраст — 6 лет.

Расчетные коэффициенты естественной и общей смертности практически совпадают (рис. 11), что может свидетельствовать о незначительности влияния промысла на состояние популяции монгольского краснопера в оз. Ханка, что подтверждается многолетними данными промысловой статистики.

Горбушка в оз. Ханка достигает длины (AD) 42,5 см и массы 1122 г (отмечена в 1992 г.). Средние размеры в уловах — 23,5 см, масса 196,0 г, самок — 25,2 см и 224,5 г, самцов — 22,8 см и 167,0 г. Половозрелость горбушки в оз. Ханка наступает при достижении длины (AD) около 22 см в возрасте 4+ [Горяинов и др., 2014], что соответствует установленной промысловой длине (табл. 5).

Как видно на рис. 12, расчетные коэффициенты естественной и общей смертности практически совпадают, что показывает незначительность влияния промысла на состояние популяции горбушки оз. Ханка и подтверждается многолетними данными промысловой статистики.

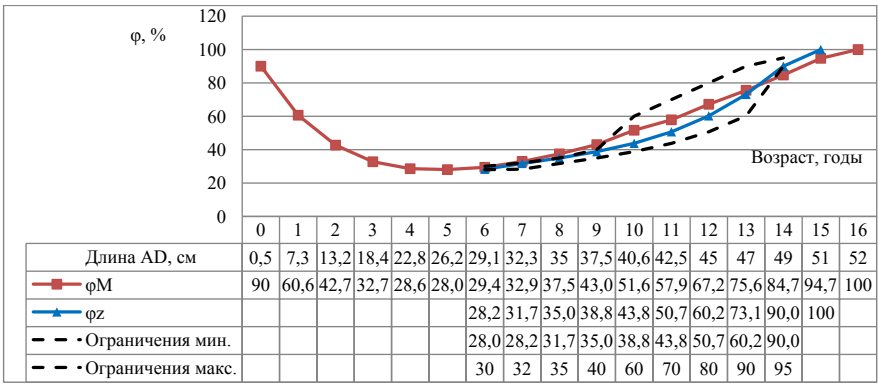


Рис. 11. Распределение значений смертности монгольского краснопера оз. Ханка по возрастам

Fig. 11. Mortality rates of mongolian redfin in Lake Khanka, by age classes

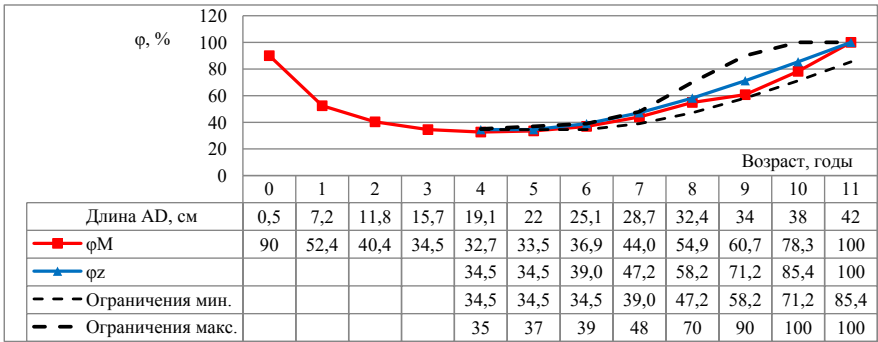


Рис. 12. Распределение значений смертности горбушки оз. Ханка по возрастам

Fig. 12. Mortality rate of predatory carp *Chanodichthys oxyccephalus* in Lake Khanka, by age classes

Судак в оз. Ханка достигает длины (AD) 73 см и массы более 5 кг. Средняя длина (AD) в уловах 40–50 см, масса — 1–2 кг. Средняя длина самок — 54 см, масса 2,3 кг, самцов — 50 см и 1,7 кг. Половозрелость судака наступает при достижении длины (AD) около 30 см в возрасте 2+...4+. Промысловый размер судака в оз. Ханка не установлен. По данным из промысловых уловов интенсивно добываются особи длиной от 40 см в возрасте от 4+.

Анализ распределения коэффициентов смертности показывает (рис. 13), что общая смертность рыб в старших возрастах выше, чем естественная, что может свидетельствовать о заметном воздействии промысла на популяцию судака в оз. Ханка.

Заключение

Проведенное исследование с использованием имеющихся в нашем распоряжении данных о биологии размножения и размерно-возрастном составе популяций массовых промысловых видов рыб оз. Ханка продемонстрировало примеры эффективного применения разработанной методики для расчета коэффициентов естественной смертности рыб пресноводных водоемов по данным о возрасте полового созревания.

При условии, что распределение коэффициентов естественной смертности в зависимости от возраста имеет U-образный вид, а массовое половое созревание рыб происходит при достижении ими половины максимальной длины, можно рассчитать коэффициенты естественной смертности для всех размерно-возрастных классов в популяции.

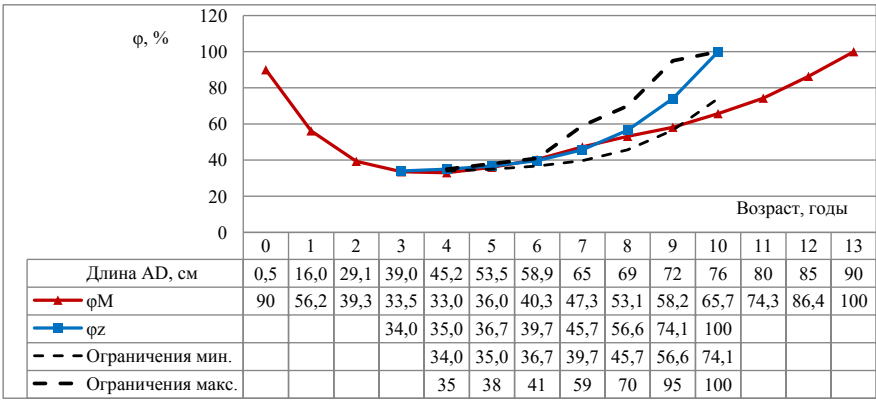


Рис. 13. Распределение значений смертности судака оз. Ханка по возрастам
Fig. 13. Mortality rates of zander in Lake Khanka, by age classes

При помощи функции подбора параметров был разработан способ определения коэффициентов общей смертности для популяции по имеющимся данным о возрастном составе. Сравнение характера распределения показателей коэффициентов общей и естественной смертности может служить индикатором влияния промысла на эксплуатируемые популяции рыб и являться критерием оценки эффективности применяемых мер регулирования промысла.

Для таких видов, как карась, щука, конь пятнистый и краснопер монгольский, коэффициенты естественной смертности для некоторых возрастов превышают значения коэффициентов общей смертности (см. рис. 5, 6, 8, 10). Данные объекты обладают высокой численностью в озере, но слабо осваиваются промыслом, в связи с чем, с одной стороны, мы имеем мало данных о динамике размерно-возрастного состава уловов, а с другой — промысел, скорее всего, не оказывает заметного влияния на популяции этих видов. Таким образом, данное наблюдение может являться следствием либо недостаточности промысловых данных, либо, что близко к реальности, практического отсутствия влияния промысла на динамику численности этих видов рыб, что и отражается на графиках распределения коэффициентов смертности, показывая в том числе уровень чувствительности этого метода.

Предлагаемая методика позволяет формализовать и уточнить процесс экспертной оценки основных параметров динамики численности популяций рыб (воспроизводства и убыли), запасы которых оцениваются косвенными методами, что может частично компенсировать существующие недостатки данных промысловой статистики. Методика может использоваться в моделях динамики численности рыб в условиях дефицита промысловой информации.

Сравнение характера распределения показателей коэффициентов общей и естественной смертности подтверждает возможность использования их как индикаторов влияния промысла на эксплуатируемые популяции рыб и рассматривать как критерий оценки эффективности применяемых мер регулирования промысла.

Полученные в ходе исследования зависимости могут быть применены при разработке моделей динамики численности локальных популяций как пресноводных, так и морских рыб.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность рецензентам за ценные замечания, полученные при подготовке работы.

The authors are thankful to anonymous reviewers for their valuable comments useful for the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

This study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

The authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

М.Е. Шаповалов — подготовка и анализ исходных данных, Д.Л. Шабельский — подбор методов и анализ данных.

M.E. Shapovalov — field observations, processing and analyzing the data of observations, D.L. Shabelsky — selection of methods and data analysis.

Список литературы

Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В. Рыбоводные технологии в искусственном воспроизводстве: современное состояние, проблемы, решения // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 153. — С. 137–153.

Горяинов А.А., Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Рыбохозяйственный атлас озера Ханка. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 205 с.

Журавлёва Н.Г. Влияние абиотических и биотических факторов среды на выживаемость эмбрионов и молоди рыб // Вестн. МГТУ. — 2009. — Т. 12, № 2. — С. 338–343.

Зыков Л.А., Слепокуров В.А. Уравнение для оценки коэффициентов естественной смертности рыб (на примере пеляди оз. Ендырь-Согомский) // Рыб. хоз-во. — 1982. — № 3. — С. 36–37.

Ильин О.И., Трофимов И.К., Золотов А.О. и др. Оценка естественной смертности тресковых рыб (Gadidae) прикамчатских вод // Тр. ВНИРО. — 2014. — Т. 151. — С. 75–80.

Крыжановский С.Г., Смирнов А.И., Соин С.Г. Материалы по развитию рыб Амура // Тр. Амурской ихтиологической экспедиции 1945–1949 гг. — М. : МОИП, 1951. — Т. 2. — С. 78–79.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) : моногр. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищепромиздат, 1966. — 375 с.

Рихтер В.А., Ефанов В.Н. Об одном из подходов к оценке естественной смертности рыбных популяций // Тр. АтлантНИРО. — 1977. — Вып. 73. — С. 77–85.

Рыжков Л.П. Озерное товарное рыбоводство : моногр. — М. : Агропромиздат, 1987. — 334 с.

Тюрин П.В. «Нормальные» кривые переживания и темпов естественной смертности рыб как основа регулирования рыболовства // Изв. ГосНИОРХ. — 1972. — Т. 71. — С. 403–427.

Шаповалов М.Е. Внутривидовая структура верхогляда *Chanodichthys erythropterus* озера Ханка // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 162. — С. 36–60.

Шаповалов М.Е., Королева В.П. Сроки нереста, плодовитость и воспроизводительная способность некоторых видов рыб оз. Ханка // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 175. — С. 69–92.

Шилова Н.А., Семушин А.В. Расчет показателей естественной смертности для популяции *Laminaria saccharina* (L) Lamour // Вестн. Поморского ун-та. Серия: Естественные науки. — 2011. — № 4. — С. 96–101.

References

Burlachenko, I.V. and Yakhontova, I.V., Aquaculture Technologies in Restocking: the Modern Status, the Problems and Solutions, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 153, pp. 137–153.

Goryainov, A.A., Barabanshchikov, Ye.I., and Shapovalov, M.Ye., *Rybohozyajstvennyj atlas ozera Khanka* (Fishery Atlas of Lake Khanka), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Zhuravlyova, N.G., Dependence of abiotic and biotic environmental factors on probability of embryos and young fish survival, *Vestn. Murm. Gos. Tekh. Univ.*, 2009, vol. 12, no. 2, pp. 338–343.

Zykov, L.A. and Slepokurov, V.A., Equation for assessing the coefficients of natural mortality of fish (using the example of peled from Lake Endyr-Sogomsky), *Rybn. Khoz.*, 1982, no. 3, pp. 36–37.

Ilin, O.I., Trofimov, I.K., Zolotov, A.O., Terentyev, D.A., Novikova, O.V., and Varkentin, A.I., Estimation of Instantaneous Natural Mortality Rate of Gadidae Family of the Kamchatka Shelf, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 151, pp. 75–80.

Kryzhanovsky, S.G., Smirnov, A.I., and Soin, S.G., Amur Fish Development Materials, *Tr. Amurskoy ikhtiologicheskoy ekspeditsii 1945–1949 gg.*, Moscow: Mosk. O-vo Ispyt. Priir., 1951, vol. 2, pp. 78–79.

Pravdin, I.F., *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* (Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater)), 4th ed., Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.

Rikhter, V.A. and Yefanov, V.N., On one of the approaches to the estimate of fish population natural mortality, *Tr. Atlant. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1977, vol. 73, pp. 77–85.

Ryzhkov, L.P., *Ozornoye tovarnoye rybovodstvo* (Lake commercial fish farming), Moscow: Agropromizdat, 1987.

Tjurin, P.V., “Normal” curves of survival and natural mortality rates in fish as the theoretical basis for fishing regulation, *Izv. Gos. Nauchno-Issled. Inst. Ozer. Rechn. Rybn. Khoz.*, 1972, vol. 71, pp. 403–427.

Shapovalov, M.E., Intraspecific structure of skygazer *Chanodichthys erythropterus* in Khanka Lake, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 162, pp. 36–60.

Shapovalov, M.E. and Koroleva, V.P., Time of spawning, fecundity, and reproduction ability for certain fish species in Lake Khanka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 175, pp. 69–92.

Shilova, N.A. and Semushin, A.V., Estimation of natural mortality indices for *Laminaria saccharina* (L) Lamour population, *Vestn. Pomor University. Series: Natural Sciences*, 2011, no. 4, pp. 96–101.

Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 6 maya 2022 g. № 285 «Ob utverzhdenii pravil rybolovstva dlya Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna» (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated May 6, 2022 No. 285 “On approval of the Fishing Rules for the Far Eastern Fishery Basin”), Moscow, 2022.

Поступила в редакцию 25.03.2025 г.

После доработки 7.08.2025 г.

Принята к публикации 8.09.2025 г.

The article was submitted 25.03.2025; approved after reviewing 7.08.2025; accepted for publication 8.09.2025