

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

УДК 639.2.03

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ПРИЕМНОЙ ЕМКОСТИ И ПРОМЫСЛОВОГО ВОЗВРАТА ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ СИГА (*COREGONUS LAVARETUS* L.) КУРШСКОГО ЗАЛИВА

С. В. Шибаев*, Л. В. Шибаев**

*ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (КГТУ)

**ФГБНУ «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (АтлантНИРО),
Россия, г. Калининград

Приводится оригинальная методика расчета приемной емкости Куршского залива при искусственном воспроизводстве сига. Методика базируется на расчете численности стабильной популяции по модели У. Рикера (1980) с использованием стандартных биологических параметров — весового роста в соответствии с уравнением Бергаланфи, рассчитанному по фактическим данным, и U-образной кривой естественной смертности, представленной полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома подбирались с учетом двух граничных условий: популяционного коэффициента естественной смертности, оцененного методом Ф. И. Баранова (1918) ($M = 2,578$ 1/год), и минимального значения естественной смертности в возрасте наступления половозрелости в соответствии с методом Л. А. Зыкова (1986). Путем подбора значения компенсационной естественной смертности в возрасте 0+ достигалось стабильное состояние популяции, при котором популяционная плодовитость оказывалась равной начальной численности популяции. Значение задавалось таким образом, чтобы достичь величины улова, равного 20 т, наблюдавшегося в период стабильного состояния популяции сига в 1950–1970-е гг. В результате были определены приемная емкость водоема и коэффициент промыслового возврата от выпуска молоди на разных стадиях. Предложенный подход имеет универсальный характер, не требует сложных и крайне неточных трофологических исследований, но объективно учитывает биологические параметры исследуемой популяции и ее функционирование в конкретной экосистеме.

Ключевые слова: Куршский залив; сиг; искусственное воспроизводство; промысловый возврат; приемная емкость; модель популяции.

Введение

Поддержание сырьевой базы отечественного рыболовства за счет искусственного воспроизводства является важной задачей обеспечения устойчивого развития рыбного хозяйства. Неслучайно поэтому в последние несколько лет в Российской Федерации принята серия нормативных актов, направленных на стимулирование инвестиционной привлекательности различных видов аквакультуры

[1, 2]. Наиболее сложными проблемами оказываются определение необходимого объема искусственного воспроизводства и оценка его эффективности.

Первый показатель обозначается термин «приемная емкость» и характеризует количество искусственно воспроизведенной молоди данного вида рыбы на определенном этапе развития, которое может быть выпущено в водоем для поддержания устойчивого существования популяции рыбы (при нарушении ее естественного воспроизводства), либо

© С. В. Шибаев, Л. В. Шибаев

в целях формирования дополнительной рыбопродукции (пастбищная аквакультура) без нарушения сложившегося баланса в экосистеме.

Второй показатель обозначается как «промысловый возврат» и показывает долю или процент искусственно воспроизведенной молоди данного вида рыбы, выпущенной в водоем на определенном этапе развития, которая доживет до возраста наступления половозрелости. Хотя в этом случае возраст наступления половозрелости t_s отождествляется с возрастом первой поимки t_c , величина возможного вылова не может быть приравнена к величине промыслового возврата. Вылов будет определяться биомассой эксплуатируемого запаса (ESB), сформировавшегося за счет искусственного воспроизводства, с одной стороны, и интенсивностью эксплуатации — с другой, которая по определению не может быть равна 100 % [3].

Оба рассматриваемых параметра тесно связаны друг с другом, так как приемная емкость напрямую зависит от величины промыслового возврата.

Методы оценки как первого, так и второго показателя не отработаны, а получаемые результаты крайне ненадежны. Например, если обратиться к ныне действующей методике исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам [4], можно заметить, что предлагаемые коэффициенты промыслового возврата для сходных по биологии видов могут различаться на 1–2 порядка, что вряд ли приемлемо, даже учитывая различные экологические условия водоемов. В ряде случаев коэффициенты имеют такие значения, что просто не позволяют популяции существовать в стабильном состоянии.

Вполне понятно, что такая вариабельность параметров связана со сложностью проведения экспериментов по выживаемости молоди в каждом конкретном случае и трудностью получения надежных оценок, входящих в расчеты биологических параметров. По нашему мнению, методика оценки промыслового возврата и приемной емкости должна иметь универсальный характер, использовать ясные входные параметры и возможность однозначной верификации по-

лучаемых результатов. Реализация данного подхода возможна на основе исследования некоторой теоретической модели, разработке которой и посвящена настоящая статья.

Материал и методика

Материалом для настоящей работы послужили результаты наших исследований по оценке биологических параметров популяции сига Куршского залива [5–12]. К ним относятся размерно-возрастная и половая структура нерестового стада, темп линейного и весового роста, описываемая уравнением Берталанфи, относительная индивидуальная плодовитость, данные по промысловому использованию сига в период его интенсивного промысла, а также биологические показатели молоди сига, выращиваемого в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) в целях искусственного воспроизводства. Ниже приведены обозначения основных параметров:

N — численность, тыс. шт.;

W — масса особи, г;

t — возраст, годы;

B — биомасса, кг;

Y_N — улов в поштучном выражении, тыс. шт.;

Y_W — улов в весовом выражении, кг;

E_p — популяционная плодовитость, тыс. шт.;

Z — мгновенный коэффициент общей смертности, 1/год;

M — мгновенный коэффициент естественной смертности, 1/год;

F — мгновенный коэффициент промысловой смертности, 1/год;

G — мгновенный коэффициент скорости весового роста, 1/год;

E_w — относительная плодовитость, икринок/г;

S — доля самок;

q — коэффициент селективности;

t_s — возраст созревания, годы;

t_l — предельный возраст жизни рыбы, годы;

S_{ts} — коэффициент выживаемости до возраста наступления половозрелости (промысловый возврат).

Особенностью исследования являлся тот факт, что сиг постоянно обитает в Балтийском море, заходя в Куршский залив только на нерест в октябре — декабре. Поэтому в промысловых и контрольных уловах он представлен только возрастными группами от 4 до 10 лет. Выклев личинок естественного нереста происходит в марте-апреле при температуре воды более 5 °С. Летом молодь нагуливается в заливе и совершает миграции к Клайпедскому проливу для выхода в море. Переход к морскому образу жизни происходит к осени в возрасте 0+, и в возрасте 1 год средняя масса сига, согласно обратным расчислениям, достигает 8,5 г.

Результаты исследований

Можно выделить два пути к оценке приемной емкости водоема по отношению к какому-либо искусственно воспроизводимому виду рыбы.

Первый основан на экологическом подходе. Он предполагает исследования отношений воспроизводимого объекта аквакультуры с абиотическими и биотическими факторами экосистемы водоема. С этой целью осуществляется расчет количества молоди объекта искусственного воспроизводства, которое может быть выпущено в водоем исходя из резерва продукции кормовой базы. Однако при этом приходится учитывать множество таких параметров экосистемы, как численность и биомасса рыб, продуктивность кормовой базы, состав пищи и рацион питания рыб [13], трофические связи в экосистеме. Все эти параметры очень трудно поддаются количественной оценке и характеризуются высокой степенью неопределенности [14–18]. Так, в процессе трофологических исследований, которые были весьма популярны в 1980-е гг., оказывалось, что рационы рыб, рассчитанные по балансу энергии, зачастую получались больше, чем продукция кормовой базы, оцениваемая в результате гидробиологических исследований [19–21], а достоверность оценки численности популяции и ихтиомассы зачастую превышает десятки и даже сотни процентов [16, 22].

Кроме того, при определении объемов зарыбления Куршского залива молодь сига

необходимо учитывать, что сиг в основном обитает и нагуливается в море, половозрелые особи заходят в залив на период нереста, молодь находится в водоеме до ската в море относительно короткий период, и скорее всего кормовая база не является лимитирующим фактором. В связи с этим данный подход к определению приемной емкости представляется не совсем адекватным.

Второй подход заключается в оценке приемной емкости водоема по данным о промысловых уловах, когда формирование запасов, их пополнение осуществлялись естественным образом, а популяция, ее численность и биомасса находились в относительно стабильном состоянии, соответствующем емкости среды. В этом случае автоматически учитываются состояние кормовой базы, пищевые потребности и пищевые взаимоотношения рыб. Этот метод был принят нами за основу при расчете необходимого объема зарыбления Куршского залива молодь для восстановления нерестового стада сига.

В качестве исходных были приняты следующие допущения. За последние 90 лет уловы сига имели значительные колебания. Максимальные уловы в довоенный период достигали 100 т, в послевоенный период — 60 т. Эти значения были пиковыми в очень небольшой промежуток времени, когда популяция сига была не стабильна из-за резкого увеличения интенсивности промысла. В то же время с конца 1950-х до середины 1970-х гг. популяция сига в Куршском заливе была относительно стабильна и уловы составляли в среднем около 20 т. Данная величина улова и была принята нами в качестве целевого ориентира для расчетов необходимого объема зарыбления.

Расчет приемной емкости осуществлялся с использованием имитационной модели, базирующейся на модели У. Рикера. Принцип расчета заключается в том, что популяция описывается как набор возрастных групп, каждая из которых характеризуется определенной численностью и биомассой. Переход от одной возрастной группы к последующей описывается простым экспоненциальным уравнением:

$$y = y_0 e^{kt},$$

где k — некоторый скоростной коэффициент, характеризующий естественную (M), промысловую (F), общую смертность ($M + F$) или скорость весового роста (G).

Более подробно модель У. Рикера описывается в соответствующих руководствах [3, 23, 24]. Здесь мы приведем только основные уравнения.

Динамика численности поколения описывается как

$$N_{t+1} = N_t e^{-(M_t+F_t)},$$

где F — промысловая смертность, действует только начиная с возраста, когда рыба становится доступной для лова, т. е. впервые приходит в Куршский залив на нерест.

Динамика индивидуальной массы особей описывается экспоненциальной функцией:

$$W_{t+1} = W_t e^{G_t},$$

а биомасса возрастной группы определяется произведением численности на массу особей:

$$B_{W_{t+1}} = B_{W_t} e^{G_t - Z_t}.$$

Улов в поштучном выражении для возрастной группы t :

$$Y_{N_t} = N_t \frac{F_t}{F_t + M_t} (1 - e^{-(F_t+M_t)}).$$

Улов в весовом выражении для возрастной группы t :

$$Y_{W_t} = N_t W_t \frac{F_t}{G_t - Z_t} (e^{(G_t-Z_t)} - 1).$$

Популяционная плодовитость:

$$E_p = \sum_{t=ts}^{t=t\lambda} N_t W_t E_{W_t}.$$

Исследование модели проводилось следующим образом. Предполагалось, что коэффициенты весового роста и естественной смертности являются зависимыми от возраста.

Коэффициент скорости весового роста может быть легко определен для каждого возраста по наблюдаемым данным, либо с использованием параметров уравнения Берталанфи по формуле:

$$G_t = \ln \frac{W_{t+1}}{W_t}.$$

Главной проблемой является знание коэффициента естественной смертности. Коэффициент естественной смертности для сига не известен и оценить его по фактическим данным не представляется возможным. В этой связи мы применили теоретический подход. Примем, что возрастная динамика естественной смертности описывается U -образной кривой: смертность максимальна на первом году жизни, минимальна в возрасте наступления половозрелости, и в дальнейшем возрастает по мере старения организма. Исходя из этого, нами кривая смертности была разбита на три отрезка:

1) смертность в период инкубации икры (M_{egg}) в естественных условиях была принята заведомо максимально высокой, равной 99 % ($M_{egg} = 4,605$ 1/год). Фактическое ее значение обычно неизвестно, хотя даже в условиях искусственной инкубации она может достигать до 50 % и более;

2) смертность на первом году жизни (M_{0+}) в возрасте 0+ не известна, и в настоящей работе она подбиралась в процессе имитационного моделирования. Предполагается, что величина этой смертности является переменной и выполняет роль компенсационной смертности, обеспечивающей поддержание системы «запас — пополнение» в стабильном состоянии;

3) третий период охватывает популяцию от одного года до предельного возраста жизни рыбы в период жизни сига в море. С целью нахождения естественной смертности на этом этапе нами применены элементы, основанные на методике, предложенной Л. А. Зыковым [25–27].

Л. А. Зыков принял, что возрастная динамика ихтиомассы поколения описывается асимметричной параболой, минимум которой приходится на возраст наступления половозрелости. В этой минимальной точке наблюдается равенство скорости весового роста G и естественной смертности M , что обеспечивает кульминацию ихтиомассы. Учитывая, что мгновенный коэффициент скорости весового роста может быть легко определен, по его значению можно оценить коэффициент минимальной естественной смертности.

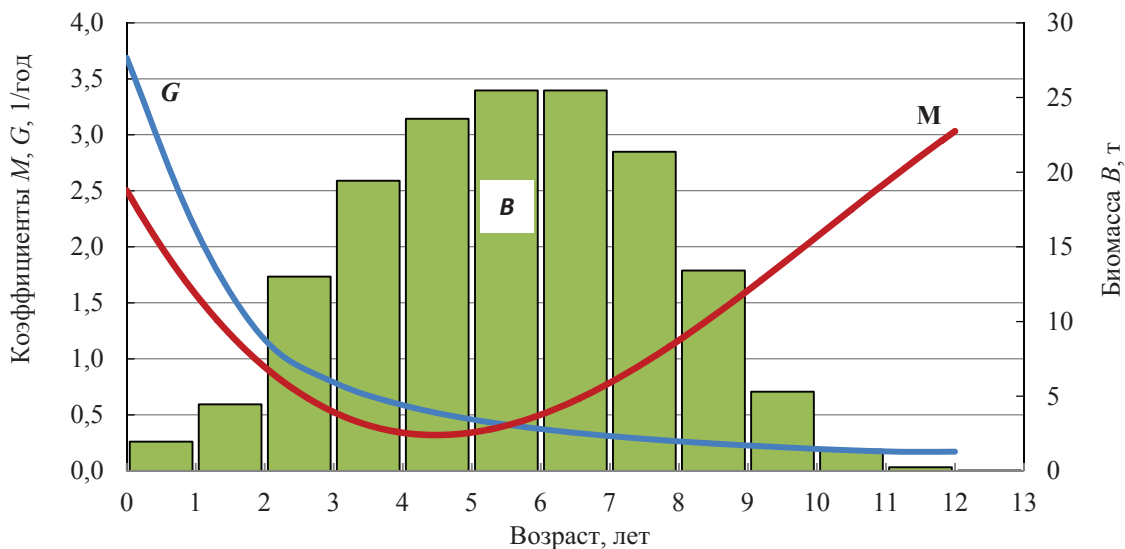
Учитывая, что в исследуемой популяции сига возраст наступления массовой половозрелости составляет пять лет, при коэффициенте весового роста $G = 0,46$ 1/год, это же значение можно принять в качестве мгновенного коэффициента естественной смертности.

Максимальный возраст сига в выборке из 1100 шт. составил 10 лет. Согласно методике Ф. И. Баранова [3], в этом случае величина годовой естественной смертности должна составить 50 %, или в мгновенных показателях $M = 0,693$ 1/год.

Исходя из этих положений, мы подобрали полином третьей степени, описывающий естественную смертность, так чтобы его ми-

нимум соответствовал значению коэффициента мгновенной естественной смертности $M_{\min} = 0,46$, а суммарная годовая смертность составляла $M = 0,693$ 1/год.

Полученные популяционные параметры — мгновенная скорость роста $G(t)$, естественная смертность $M(t)$ и биомасса популяции $B(t)$ — представлены на рисунке. В младших возрастах темп весового роста повышает естественную смертность, что приводит к нарастанию биомассы, а в старших возрастах наблюдается обратная картина. Максимум биомассы (кульминация) приходится на точку пересечения кривых роста и смертности в возрасте пяти лет.



Основные популяционные параметры сига Куршского залива, использованные при построении модели (обозначения в тексте)

Исследование имитационной модели велось следующим образом. Задавалось некоторое начальное значение популяционной плодовитости E_p и рассчитывалась начальная численность популяции в момент вылупления личинок из икры как

$$N_0 = E_p e^{-M_{\text{egg}}}.$$

Задавалось некоторое начальное значение компенсационной смертности в возрасте 0+ и рассчитывалась численность годовиков. Затем с использованием полученной ранее кривой естественной смертности $M(t)$, кривой скорости весового роста $G(t)$ рассчитывались все популяционные параметры: чис-

ленность, биомасса, популяционная плодовитость и величина уловов. Используя функцию Excel «поиск решения», подбиралось такое значение естественной смертности в возрасте 0+, которое бы обеспечивало существование стабильной популяции. Очевидно, что это достигается, когда начальная численность соответствует результирующему значению популяционной плодовитости E_p .

Второй этап расчетов заключался в подборе такого значения начальной численности и равной ей популяционной плодовитости, которые при заданном значении промысловой смертности обеспечивали бы стабильную величину улова, принятой равной 20 т.

Учитывая относительно невысокую интенсивность сетного промысла, описанного В. М. Осадчим для Куршского залива [28], было принято, что величина мгновенного коэффициента промысловой смертности не могла превышать $F = 0,2$ 1/год. Однако, учитывая, что фактическая величина промысловой смертности неизвестна, модель исследовалась для трех вариантов промысловой смертности $F = 0,05; 0,1; 0,2$ 1/год. Результаты расчетов приведены в табл. 1–3.

Рассмотрим вариант модели с достаточно высокой интенсивностью промысла $F = 0,2$ 1/год и стабильном вылове 20 т. В этом случае численность стабильной популя-

ции (когда результирующая популяционная плодовитость равна начальному количеству икры) составляет 1,95 млн шт., общая биомасса — 208 т и величина нерестового стада — 101 т. Уравновешенное состояние популяции обеспечивается за счет коэффициента компенсационной смертности $M = 2,314$ 1/год.

В модели с интенсивностью промысла $F = 0,1$ 1/год и стабильном вылове 20 т численность стабильной популяции составляет 4,09 млн шт., общая биомасса — 376 т и величина нерестового стада — 203 т, коэффициент компенсационной смертности — $M = 2,578$ 1/год.

Таблица 1 — Модель популяции сига при величине промысловой смертности $F = 0,2$ 1/год

t	W	G	M	F	N	B	S	E	q	Y_w
E_p			4,605	—	1 954 151		—	—	—	—
0+	0,1	3,689	2,314	—	19 542	1 954	—	—	—	—
1	4,0	2,156	1,084	—	1 932	7 727	—	—	—	—
2	35	1,172	0,771	—	654	22 574	—	—	—	—
3	111	0,791	0,597	—	302	33 708	—	—	—	—
4	246	0,587	0,509	0,2	166	40 909	0,10	163 636	0,5	3 851
5	442	0,460	0,460	0,2	82	36 200	0,25	362 005	1	6 561
6	700	0,373	0,549	0,2	42	29 632	0,35	414 846	1	4 940
7	1 017	0,311	0,776	0,2	20	20 350	0,60	488 408	1	2 972
8	1 387	0,263	1,191	0,2	8	10 461	0,85	355 685	1	1 255
9	1 805	0,226	1,544	0,2	2	3 387	1,00	135 473	1	348
10	2 263	0,197	1,985	0,2	0	742	1,00	29 695	1	64
11	2 754	0,172	2,464	0,2	0	102	1,00	4 066	1	7
12	3 272	0,171	3,181	0,2	0,001	8	1,00	337	1	1
Сумма	—	—	—	—	1 976 901	207 756	—	1 954 150	—	20 000

Таблица 2 — Модель популяции сига при величине промысловой смертности $F = 0,1$ 1/год

t	W	G	M	F	N	B	S	E	q	Y_w
E_p			4,605	—	4 096 459		—	—	—	—
0+	0,1	3,689	2,579	—	40 965	4 096	—	—	—	—
1	4,0	2,156	1,084	—	3 108	12 429	—	—	—	—
2	35	1,172	0,771	—	1 051	36 310	—	—	—	—
3	111	0,791	0,597	—	486	54 221	—	—	—	—
4	246	0,587	0,509	0,1	268	65 804	0,10	263 214	0,5	3 254
5	442	0,460	0,460	0,1	146	64 354	0,25	643 535	1	6 123
6	700	0,373	0,549	0,1	83	58 217	0,35	815 032	1	5 088
7	1 017	0,311	0,776	0,1	43	44 186	0,60	1 060 473	1	3 375
8	1 387	0,263	1,191	0,1	18	25 103	0,85	853 517	1	1 569
9	1 805	0,226	1,544	0,1	5	8 982	1,00	359 278	1	480
10	2 263	0,197	1,985	0,1	1	2 176	1,00	87 035	1	98
11	2 754	0,172	2,464	0,1	0	329	1,00	13 169	1	13
12	3 272	0,171	3,181	0,1	0,001	30	1,00	1 205	1	1
Сумма	—	—	—	—	4 142 634	376 238	—	4 096 458	—	20 000

Таблица 3 — Модель популяции сига при величине промысловой смертности $F = 0,05$ 1/год

t	W	G	M	F	N	B	S	E	q	Y_W
E_p			4,605	—	8 402 065	—	—	—	—	—
0+	0,1	3,689	2,719	—	84 021	8 402	—	—	—	—
1	4,0	2,156	1,084	—	5 540	22 152	—	—	—	—
2	35	1,172	0,771	—	1 874	64 713	—	—	—	—
3	111	0,791	0,597	—	867	96 634	—	—	—	—
4	246	0,587	0,509	0,05	477	117 277	0,10	469 107	0,5	2 973
5	442	0,460	0,460	0,05	273	120 573	0,25	1 205 729	1	5 880
6	700	0,373	0,549	0,05	164	114 667	0,35	1 605 338	1	5 132
7	1 017	0,311	0,776	0,05	90	91 495	0,60	2 195 869	1	3 575
8	1 387	0,263	1,191	0,05	39	54 646	0,85	1 857 947	1	1 743
9	1 805	0,226	1,544	0,05	11	20 554	1,00	822 179	1	560
10	2 263	0,197	1,985	0,05	2	5 235	1,00	209 384	1	120
11	2 754	0,172	2,464	0,05	0	833	1,00	33 306	1	16
12	3 272	0,171	3,181	0,05	0,001	80	1,00	3 203	1	1
Сумма	—	—	—	—	8 495 423	717 259	—	8 402 063	—	20 000

В третьей модели с интенсивностью промысла $F = 0,05$ 1/год и стабильном вылове 20 т численность стабильной популяции составляет 8,4 млн шт., общая биомасса — 717 т и величина нерестового стада — 408 т, коэффициента компенсационной смертности — $M = 2,719$ 1/год.

Полученные результаты моделирования позволяют оценить возможный промысловый возврат как отношение численности пятигодовиков к численности возрастной группы 0+. Анализ таблиц показывает, что выживаемость старших возрастных групп определяется величиной компенсационной смертности группы 0+. Очевидно, что для поддержания стабильного запаса компенсационная смертность должна быть величиной переменной, зависящей от величины нерестового запаса и в последующем от популяционной плодовитости и гибели икры. В наших расчетах принималось, что естественная смертность икры составляет 99 %, и в результате было получено некоторое частное решение. На самом деле величина естественного отхода икры, вероятно, может изменяться в широких пределах, и это будет определять уровень промыслового возврата. С целью более полного изучения данного вопроса модель была исследована следующим образом:

— задавались различные значения гибели икры за период инкубации в естественных условиях в пределах от 90 до 99 % (для большей наглядности использовались действительные коэффициенты смертности в процентах);

— путем итераций подбирался коэффициент естественной смертности возрастной группы 0+, обеспечивающий стабильное существование популяции. Очевидно, что каждому значению компенсационной смертности соответствует определенная численность запаса и популяционная плодовитость;

— рассчитывалась численность возрастной группы 0+ и пятигодовиков, затем определялся коэффициент промыслового возврата.

В результате получена кросс-таблица, позволяющая оценить величину промыслового возврата в зависимости от соотношения между естественной гибелью икры и молоди (табл. 4).

При изменении задаваемых значений гибели икры за период инкубации в естественных условиях в пределах от 90 до 99 %, значения компенсационной смертности молоди в возрасте 0+ (т. е. с момента вылупления личинки до возраста 1 год) варьирует от 92,4 до 99,2 % (см. табл. 4). При этом расчетная величина промыслового возврата изменялась от 0,039 до 0,393 %. Равенство коэффициентов смертности икры в период инкубации и молоди в течение первого года жизни дает величину промыслового возврата около 0,12 %. Очевидно, что в условиях искусственного воспроизводства выпуск молоди никогда не происходит в момент вылупления из икры. Следовательно, и коэффициент промыслового возврата должен быть существенно выше.

Таблица 4 — Зависимость коэффициента промыслового возврата сига от соотношения между гибелью икры и молоди по результатам моделирования в дикой популяции, %

Компенсационная смертность 0+	Гибель икры									
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
92,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,393
96,2	—	—	—	—	—	—	—	—	0,196	—
97,5	—	—	—	—	—	—	—	0,131	—	—
98,1	—	—	—	—	—	—	0,098	—	—	—
98,5	—	—	—	—	—	0,079	—	—	—	—
98,7	—	—	—	—	0,066	—	—	—	—	—
98,9	—	—	—	0,056	—	—	—	—	—	—
99,1	—	—	0,049	—	—	—	—	—	—	—
99,2	0,039	0,044	—	—	—	—	—	—	—	—

Обращает на себя внимание следующий факт. В модели заданы крайне жесткие условия выживаемости икры, молоди и достаточно высокие значения коэффициентов естественной смертности взрослых рыб. Но даже в этом случае промысловый возврат от только что вылупившейся личинки получается достаточно высоким и соизмеримым с тем, который установлен нормативными документами для молоди навеской 2–10 г — 0,2 %. Это свидетельствует о том, что последний является существенно заниженным, по всей видимости, не менее, чем на порядок и требуется его уточнение.

Полученные значения коэффициента компенсационной смертности позволяют подойти к оценке приемной емкости водоема и коэффициента промыслового возврата в зависимости от стадии развития выпускаемой молоди исходя из следующих соображений. Период жизни сеголеток в заливе и море составляет девять месяцев (апрель — декабрь). Предположим, что годовой коэффициент компенсационной смертности M_{0+} линейно зависит от возраста личинок и молоди (t , месяцы), пропорционально уменьшаясь ежемесячно на $1/9$ часть. Таким образом, для вылупившейся личинки компенсационная смертность будет составлять $M_{0+} = 2,314$ (для варианта $F = 0,2$), а спустя месяц ее величина будет меньше в девять раз на величину $\frac{M_{0+}}{9}$. При этом масса личинки за девять месяцев изменяется от 0,008 при вылуплении до 8,5 г в возрасте одного года. Первая величина получена на основе

наблюдений за результатами инкубации икры и выращивания молоди в условиях УЗВ, вторая — по данным обратных расчислений [11]. Установлено также, что на первом году жизни рост сига описывается экспоненциальным уравнением. В этом случае легко может быть определен мгновенный коэффициент весового роста для месячного интервала времени (G_{mon}) как

$$G_{mon} = \frac{\ln \frac{8,5}{0,008}}{9} = 0,871.$$

Таким образом, для любого момента времени жизни молоди (по сути, возраста и навески выпускаемой молоди) можно найти суммарный коэффициент ее смертности в течение первого года. Прибавив к этому значению суммарный коэффициент смертности в возрасте от 1 года до наступления половозрелости в 5 лет, можно получить коэффициент промыслового возврата. Конечно, логичнее было бы связать величину естественной смертности сеголеток не с возрастом, а с достигнутой массой, однако в данном примере мы стремимся упростить модель, показав сам принцип исследования. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Рассмотрим полученные результаты моделирования. В зависимости от начальной точки отсчета (возраста молоди — от нуля до 9 мес.) компенсационная смертность может изменяться в пределах от 2,719 до 0,257 (1/мес.). Эта величина естественной смертности показывает убыль рыб на первом году жизни. Добавив к ней суммарную естествен-

ную смертность в возрасте от 1 до 5 лет (2,961 1/год), получим показатель убыли до наступления половозрелости и, проведя несложные преобразования, определим коэффициент промыслового возврата как

$$S_{is} = e^{-(M_{0+} + M_{1-5})}$$

Коэффициент промыслового возврата изменяется от минимальной величины $S_{is} = 0,34\%$ при расчете смертности с момента вылупления до $S_{is} = 4,00\%$ в случае выпуска молоди массой 8,5 г (см. табл. 5). Для рассматриваемого рыболовного предприятия (Экспериментальный рыболовный цех) установлена нормативная величина промыслового возврата, учитываемая в расчете затрат на компенсационные мероприятия, равная 0,2%, при навеске 2–10 г. Как видно, эта величина в 10–20 раз ниже рассчитанной с помощью модели, при которой достигается существование стабильной популяции. Следовательно, норматив промвозврата 0,2% не может быть

признан обоснованным, так как противоречит биологии вида.

Учитывая, что при искусственном воспроизводстве по крайней мере половина периода жизни молоди и критических стадий развития проходит в контролируемых условиях, можно предположить, что промысловый возврат выпускаемой молоди будет значительно выше, чем выживаемость в естественных условиях. Имея начальные значения численности личинок для каждого варианта модели и используя полученные коэффициенты месячной естественной смертности, можно рассчитать и величину приемной емкости водоема (см. табл. 5). Понятно, что ее величина будет зависеть от того значения коэффициента промысловой смертности, который задавался в различных вариантах модели (см. табл. 1–3). Несмотря на это величина приемной емкости изменяется в достаточно приемлемых пределах (2–10 млн шт.) в зависимости от стадии жизни молоди сига, на которой происходит выпуск.

Таблица 5 — Оценка возможной величины промыслового возврата и приемной емкости при разном возрасте и навеске выпускаемой молоди сига

Ме- сяц вы- пуска	Воз- раст мо- лоди, мес.	Масса особи, г	Варианты расчетов для различных значений промысловой смертности												
			$F = 0,2$	$F = 0,1$	$F = 0,05$	$F = 0,2$	$F = 0,1$	$F = 0,05$	$F = 0,2$	$F = 0,1$	$F = 0,05$	$F = 0,2$	$F = 0,1$	$F = 0,05$	
			Компенсационная смертность для 0+			Естественная смертность для групп 1–5			Промысловый возврат, %			Приемная емкость, млн шт.			
		$G = 0,871$	2,314	2,579	2,719	2,961	2,961	2,961							
			Компенсационная смертность по месяцам			Суммарная смертность для групп 0–5 лет									
4	0	0,008	2,314	2,579	2,719	5,275	5,540	5,680	0,51	0,39	0,34	19,54	40,96	84,021	
5	1	0,019	2,057	2,292	2,417	5,018	5,253	5,378	0,66	0,52	0,46	15,11	29,68	59,81	
6	2	0,046	1,800	2,006	2,115	4,761	4,967	5,076	0,86	0,70	0,62	11,69	21,50	42,58	
7	3	0,109	1,543	1,719	1,813	4,504	4,680	4,774	1,11	0,93	0,84	9,04	15,57	30,31	
8	4	0,261	1,286	1,433	1,511	4,247	4,394	4,472	1,43	1,24	1,14	6,99	11,28	21,58	
9	5	0,623	1,028	1,146	1,208	3,989	4,107	4,169	1,85	1,65	1,55	5,40	8,17	15,36	
10	6	1,489	0,771	0,860	0,906	3,732	3,821	3,867	2,39	2,19	2,09	4,18	5,92	10,93	
11	7	3,557	0,514	0,573	0,604	3,475	3,534	3,565	3,10	2,92	2,83	3,23	4,29	7,78	
12	8	8,500	0,257	0,287	0,302	3,218	3,248	3,263	4,00	3,89	3,83	2,50	3,11	5,54	

Рассмотрим теперь эффект двух вариантов искусственного воспроизводства с точки зрения поддержания естественного запаса и получения возможной величины уловов. Первый вариант — выполнение су-

ществующего государственного задания на выпуск 150 тыс. шт. подращенной молоди сига. Второй — при увеличении мощности до 500 тыс. шт. в год. Значения гибели икры и молоди определялись следующим образом.

В качестве параметра модели применялся фактический полученный коэффициент естественной смертности (отхода) от закладки икры на инкубацию до выпуска подращенной молоди в залив, который составил 66,6 %. В естественных условиях личинка и молодь находятся в заливе до ската в море около пяти месяцев. При искусственном воспро-

изводстве личинка и малек находятся в УЗВ примерно половину этого срока, поэтому можно принять, что коэффициент естественной смертности после выпуска для возраста 0+ будет в два раза меньше, чем в модели для естественной популяции, т. е. $M = 1,289$. Результаты расчетов отражены в табл. 6–7.

Таблица 6 — Модель популяции сига, поддерживаемой за счет искусственного воспроизводства, при ежегодном выпуске 150 тыс. шт. подращенной молоди

t	$W, \text{ г}$	G	M	F	N	B	S	E	q	Y_w
E_p			1,097	—	450	—	—	—	—	—
0	0,1	3,689	0,7	—	150	15,0	—	—	—	—
1	4,0	2,156	1,084	—	75	298,5	—	—	—	—
2	35	1,172	0,771	—	25	871,9	—	—	—	—
3	111	0,791	0,597	—	12	1 301,9	—	—	—	—
4	246	0,587	0,509	0,045	6	1 580,0	0,10	6 320	0,5	36,1
5	442	0,460	0,460	0,045	4	1 632,6	0,25	16 326	1	71,8
6	700	0,373	0,549	0,045	2	1 560,4	0,35	21 846	1	63,0
7	1 017	0,311	0,776	0,045	1	1 251,3	0,60	30 032	1	44,1
8	1 387	0,263	1,191	0,045	1	751,1	0,85	25 537	1	21,6
9	1 805	0,226	1,544	0,045	0	283,9	1,00	11 357	1	7,0
10	2 263	0,197	1,985	0,045	0	72,7	1,00	2 907	1	1,5
11	2 754	0,172	2,464	0,045	0	11,6	1,00	465	1	0,2
12	3 272	0,171	3,181	0,045	0,001	1,1	1,00	45	1	0,0
Сумма	—	—	—	—	726	9 632,1	—	114 835	—	245,4

Таблица 7 — Модель популяции сига, поддерживаемой за счет искусственного воспроизводства, при ежегодном выпуске 500 тыс. шт. подращенной молоди

t	$W, \text{ г}$	G	M	F	N	B	S	E	q	Y_w
E_p			1,097	—	1 498	—	—	—	—	—
0+	0,1	3,689	0,7	—	500	50,0	—	—	—	—
1	4,0	2,156	1,084	—	248	993,5	—	—	—	—
2	35	1,172	0,771	—	84	2 902,3	—	—	—	—
3	111	0,791	0,597	—	39	4 334,0	—	—	—	—
4	246	0,587	0,509	0,045	21	5 259,8	0,10	21 039	0,5	120,3
5	442	0,460	0,460	0,045	12	5 434,7	0,25	54 347	1	239,1
6	700	0,373	0,549	0,045	7	5 194,4	0,35	72 722	1	209,7
7	1 017	0,311	0,776	0,045	4	4 165,5	0,60	99 972	1	146,8
8	1 387	0,263	1,191	0,045	2	2 500,3	0,85	85 011	1	71,9
9	1 805	0,226	1,544	0,045	1	945,2	1,00	37 808	1	23,2
10	2 263	0,197	1,985	0,045	0	241,9	1,00	9 677	1	5,0
11	2 754	0,172	2,464	0,045	0	38,7	1,00	1 547	1	0,7
12	3 272	0,171	3,181	0,045	0	3,7	1,00	150	1	0,1
Сумма	—	—	—	—	2 417	32 064,2	—	382 273	—	816,8

Первый вариант — искусственное воспроизводство в объеме ежегодного выпуска 150 тыс. шт. подращенной молоди (см.

табл. 6) обеспечивает формирование нерестового стада биомассой 5,6 т (при общей биомассе запаса 9,6 т) и суммарную плодови-

тость 115 млн шт. икры. При этом расчетная величина промыслового возврата составит 2,57 %. Учитывая, что на искусственное воспроизводство необходимо использовать всего 0,45 млн шт. икры, основной фонд икры пойдет на расширенное естественное воспроизводство.

Второй вариант — искусственное воспроизводство в объеме 500 тыс. шт. подращенной молоди (см. табл. 7) обеспечивает формирование нерестового стада биомассой 18,3 т (при общей биомассе 32,1 т) и суммарную плодовитость 382 млн шт. икры. Расчетная величина промыслового возврата не изменится и составит 2,57 %. Учитывая, что на искусственное воспроизводство необходимо использовать всего 1,5 млн шт. икры, оставшийся фонд икры — более 375 млн шт. — пойдет на расширенное естественное воспроизводство.

Заключение

Таким образом, исследование популяции сига с помощью математической модели показывает, что приемная емкость Куршского залива по сигу находится в пределах 2–10 млн шт. сеголеток (в зависимости от задаваемых параметров и стадии развития). Эти цифры существенно превышают плановые показатели Экспериментального рыбоводного цеха. Следовательно, деятельность предприятия не нарушает сложившегося баланса в экосистеме Куршского залива, как в настоящее время, так и при планируемом увеличении выпуска подращенной молоди до 500 тыс. шт.

Приведенные расчеты показывают, что искусственное воспроизводство в количестве 500 тыс. шт. подращенной молоди вполне достаточно для восстановления популяции сига Куршского залива. С целью увеличения промыслового запаса и перехода к пастбищному рыболовству дальнейшие усилия должны быть направлены на мелиорацию естественных нерестилищ и создание искусственных, так как экономическая эффективность собственно искусственного воспроизводства может быть достигнута только при очень больших капиталовложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 02.07.2013 № 148-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148460.
2. Федеральный закон от 20.12.2004 № 166-ФЗ (ред. от 29.06.2015) «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799.
3. Шибает С. В. Промысловая ихтиология. Калининград : Аксиос, 2014. 535 с.
4. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам // Приказ Росрыболовства от 25.11.2011 № 1166. Зарег. в Минюсте РФ 5 марта 2012 г. № 23404. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127115.
5. Осадчий В. М., Поляков О. А., Шибает Л. В. Динамика запасов европейского сига в Куршском заливе Балтийского моря и меры по восстановлению его численности // Инновации в науке и образовании — 2010 : труды VIII Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию образования университета (19–21 окт.) : в 3 ч. / КГТУ. Калининград, 2010. Ч. 1. С. 60–61.
6. Осадчий В. М., Поляков О. А., Шибает Л. В. О состоянии естественного и искусственного воспроизводства европейского сига в Куршском заливе Балтийского моря // Рыбное хозяйство. 2011. № 6. С. 72–73.
7. Осадчий В. М., Поляков О. А., Шибает Л. В. Современное состояние запасов европейского сига в Куршском заливе и пути их восстановления // Биология, биотехника сиговых рыб : материалы Седьмого Всеросс. науч.-производ. совещ. Тюмень, 2010. С. 20–24.
8. Шибает Л. В. Биотехника получения двух поколений сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива при искусственном воспроизводстве на базе Экспериментального рыбоводного цеха управления «Запбалттрибвод» // Изв. КГТУ. Калининград, 2015. С. 31–38.
9. Шибает Л. В. Опыт стимулирования дискретного выклева сига (*Coregonus lavaretus* L.) в условиях установки замкнутого водоснабжения // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов : науч. конф. Калининград, 2013. С. 141–144.

10. Шибаев Л. В., Шпокайте Е. В. Характеристика нерестового стада сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива // Изв. КГТУ. Калининград, 2014. № 32. С. 91–98.
11. Шибаев Л. В., Шибаев С. В., Мычкова А. В. Рост сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива // Изв. КГТУ. Калининград, 2016. № 40. С. 43–54.
12. Шибаев Л. В., Шибаев С. В., Соколов А. В. Нерестовый ход сига в Куршском заливе и его зависимость от термических условий года // Рыбное хозяйство. 2012. № 2. С. 79–81.
13. Лейс О. А., Задоев И. Н. Приемная емкость экосистем для понто-каспийских ракообразных и расчет плотности их посадки // Рыбное хозяйство. 1973. № 6. С. 27–29.
14. Баканов А. И. О репрезентативности данных по кормовой базе рыб-бентофагов // Вопр. ихтиологии. 1979. Т. 19, вып. 6 (119). С. 1133–1136.
15. Желтенкова М. В., Коган А. В. Об изучении использования рыбами кормовой базы // Вопр. ихтиологии. 1985. Т. 25, вып. 2. С. 256–263.
16. Краснопер Е. В. Оценка точности при определении пищевых потребностей рыб // Оценка погрешности методов гидробиологических и ихтиологических исследований / Тр. Ин-та биологии внутренних вод АН СССР. Рыбинск, 1982. Вып. 49 (52). С. 24–42.
17. Поддубный А. Г., Баканов А. И. О количественной оценке выедания бентоса рыбами // Вопр. ихтиологии. 1980. Т. 20, вып. 6 (125). С. 888–896.
18. Поддубный А. Г., Малинин Л. К., Терещенко В. Г. О точности оценки абсолютной численности рыб во внутренних водоемах // Оценка погрешностей методов гидробиологических и ихтиологических исследований / Тр. Ин-та биологии внутренних вод АН СССР. Рыбинск, 1982. Вып. 49 (52). С. 83–102.
19. Мельничук Г. Л. Методические рекомендации по применению современных методов изучения питания рыб и расчета рыбной продукции по кормовой базе в естественных водоемах. Л. : Изд-во ГосНИОРХ, 1986. 38 с.
20. Мельничук Г. Л. Некоторые аспекты современного изучения питания рыб во внутренних водоемах // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1984. Вып. 222. С. 3.
21. Мельничук Г. Л. Экология питания, пищевые потребности и баланс энергии молоди рыб водохранилищ Днепра // Изв. ГосНИОРХ. 1975. Т. 101. 246 с.
22. Баканов А. И. Распределение макрозообентоса и количественный учет кормовой базы рыб-бентофагов : дис. ... канд. биол. наук. М., 1983. 318 с.
23. Рикер У. Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М. : Пищевая пром-сть, 1979. 408 с.
24. Шибаев С. В. Практикум по промысловой ихтиологии. Калининград : Аксиос, 2015. 320 с.
25. Зыков Л. А. Метод оценки коэффициентов естественной смертности, дифференцированных по возрасту рыб // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1986. Вып. 243. С. 14–21.
26. Зыков Л. А., Слепокуров В. А. Уравнение для оценки естественной смертности рыб (на примере пеляди оз. Ендырь) // Рыбное хозяйство. 1982. № 3. С. 36–37.
27. Зыкова Г. Ф., Зыков Л. А. Оценка коэффициентов естественной смертности рыб в разных возрастах // Тез. докл. IV Всесоюз. науч. конф. по проблемам долгосрочного прогнозирования (долгосрочные аспекты). Мурманск : ВНИРО — ПИНРО, 1989. С. 83–85.
28. Осадчий В. М. Регулирование рыболовства и стратегия использования рыбных ресурсов на Куршском заливе : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2000. 24 с.

**ON METHODS OF ASSESSMENT OF THE RECEPTION CAPACITY
AND COMMERCIAL FISHERY RETURN FOR ARTIFICIAL REPRODUCTION
OF WHITE FISH (*COREGONUS LAVARETUS* L.) IN THE CURONIAN LAGOON**

S.V. Shibaev*, L.V. Shibaev**

*Kaliningrad State Technical University (KSTU), Russia,

**Atlantic research institute of fishery and oceanography (AtlantNIRO)

The article presents an original method for calculating the reception capacity of the Curonian Lagoon for artificial reproduction of whitefish. The technique is based on calculation of the number of sustainable popu-

lation by means of modified W. Ricker model (1980). The model uses standard biological parameters: growth rate in accordance with the Bertalanffy equation, and the U-shaped curve of natural mortality approximated by a third degree polynomial. Polynomial coefficients were calculated based on two boundary conditions: the population natural mortality rate, estimated by F.I. Baranova (1918) methods ($M = 2,578$ 1/year) and the minimum value of natural mortality at the age of maturity, in accordance with the method of L.A. Zykov (1986). A compensatory mortality rate at age 0+ was selected so as to achieve a stable state of population when the initial number N_0 is equal to population fecundity. Then the initial number was chosen with the aim to achieve the catch equal to 20 tons which was observed in the years 1950-70. The result was determined by the receiving capacity of the reservoir and the coefficient of commercial return from the release of juveniles at different stages. The proposed approach is universal and does not require complex and highly inaccurate trophological research, but objectively take into account the biological parameters of the study population and its functioning in a particular ecosystem.

Keywords: Curonian Lagoon; whitefish; artificial reproduction; commercial return; reception capacity; population model.

REFERENCES

1. Federal law No. 148-FZ dd. July 12, 2015 (rev. on July 13, 2015). [On aquaculture (a fish-farming) and about amendments to certain legislative acts of the Russian Federation]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148460. (In Russ.)
2. Federal law No. 166-FZ dd. June 29, 2015 (rev. on June 29, 2015). [On fisheries and conservation of water biological resources]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799. (In Russ.)
3. Shibaev S.V. [Fishery ichthyology]. Kaliningrad: Axios Ltd., 2014. 535 p. (In Russ.)
4. [Methodic for calculation of the damages caused to water biological resources]. Order of the Federal Agency for Fishery No. 1166 of November 25, 2011. Registered in the Ministry of Justice on March 5, 2012 No. 23404. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127115. (In Russ.)
5. Osadchy V.M., Polyakov O.A., Shibaev L.V. [Dynamics of European whitefish stocks in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea and measures for its restoration]. Innovations in science and education, 2010, VIII of the international scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the University (of October 19–21, 2010), Publications: Part 3. KSTU. Kaliningrad, 2010. Part 1. 60-61 pp. (In Russ.)
6. Osadchy V.M., Polyakov O.A., Shibaev L.V. [On the state of natural and artificial reproduction of the European whitefish in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea]. Fishing industry, 2011, No. 6. 72–73 pp. (In Russ.)
7. Osadchy V.M., Polyakov O.A., Shibaev L.V. [The current state of the European whitefish stocks in the Curonian Lagoon and the ways for its restoration]. Materials of the 7th All-Russian scientific-practical conference on biology and biotechnology of whitefish. Tyumen, 2010. 20–24 pp. (In Russ.)
8. Shibaev L.V. [Biotechnics of production of two generations of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) of Curonian Lagoon at artificial condition in the Experimental hatchery of “Zapbaltrybvod”]. Kaliningrad, 2015, 31–38 pp. (In Russ.)
9. Shibaev L.V. [Experience of stimulating discrete hatching of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) in a recycling water system]. Scientific conference “Water biological resources, aquaculture and ecology of water bodies”, of September 25–26, Kaliningrad, 2013. 141–144 pp. (In Russ.)
10. Shibaev L.V., Shpokayte E.V. [Characteristics of spawning stock of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) of the Curonian Lagoon]. Bulletin of KSTU, Kaliningrad, 2014, No. 32. 91–98 pp. (In Russ.)
11. Shibaev L.V., Shibaev S.V., Mychkova A.V. [Growth of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) of Curonian Lagoon]. Bulletin of KSTU, No. 40, Kaliningrad, 2016. 43–54 pp. (In Russ.)
12. Shibaev L.V., Shibaev S.V., Sokolov A.V. [Whitefish spawning migration in the Curonian Lagoon and its dependence on the thermal conditions of the year]. Fishing industry, 2012, No. 2. 79–81 pp. (In Russ.)
13. Leis O.A., Zadoenko I.N. [Reception capacity for ecosystems Ponto-Caspian crustaceans and calculation of the density of planting]. Fisheries, 1973, No. 6. 27–29 pp. (In Russ.)
14. Bakanov A.I. [On the representativeness data by food supply of fish-benthophages]. Journal of Ichthyology, 1979, V. 19, Issue 6 (119). 1133–1136 pp. (In Russ.)

15. Zeltenkova M.V., Kogan A.V. [On the study of the using of food supply by fish]. *Journal of Ichthyology*, 1985, V. 25, Issue 2. 256–263 pp. (In Russ.)
16. Krasnopyor E.V. [Assessment of the accuracy of calculation of nutrition requirements of fishes]. *Assessment methods error in hydrobiological and ichthyological research*. Rybinsk, 1982. Issue 49 (52). 24–42 pp. (In Russ.)
17. Poddubny A.G., Bakanov A.G. [About quantitative assessment of grazing of benthic byfishes]. *Journal of Ichthyology*, 1980, V. 20. Issue 6 (125). 888–896 pp. (In Russ.)
18. Poddubny A.G., Malinin L.K., Tereshchenko V.G. [On the accuracy of assessments of the absolute abundance of fishes in inland water ecosystems]. *Assessment methods error in hydrobiological and ichthyological research*. Rybinsk, 1982, Issue 49 (52). 83–102 pp. (In Russ.)
19. Melnichuk G.L. [Methodological recommendations for the application of modern methods of studying fish food and the calculation of fishery products with respect to available food in natural water ecosystems]. Leningrad: GosNIORH, 1986. 38 p. (In Russ.)
20. Melnichuk G.L. [Some aspects of the modern study of food supply of fish in inland water ecosystems]. *Bulletin of GosNIORH*, 1984, Issue 222. 3 p. (In Russ.)
21. Melnichuk G.L. [Ecology feeding, food requirement and energy balance of juvenile fishes of Dnieper reservoirs]. *Bulletin of GosNIORH*. 1975, V. 101. 246 p. (In Russ.)
22. Bakanov A.I. [The distribution of the macrozoobenthos and the quantitative assessment of food base of fishes]: Dissertation. ... Cand. biol. Sciences. Moscow, 1983. 318 p. (In Russ.)
23. Riker C.U. [Computation and interpretation of biological statistics of fish populations]. Moscow: Pishchevaya prom-st, 1979. 408 p. (In Russ.)
24. Shibaev S.V. [Practicum for fishery ichthyology]. Kaliningrad: Axios Ltd., 2015. 320 p. (In Russ.)
25. Zykov L.A. [Methods of evaluation of coefficients of natural mortality with differentiation by age of fishes]. *Bulletin of GosNIORH*. 1986, Issue 243. 14–21 pp. (In Russ.)
26. Zykov L.A., Slepokurov V.A. [An equation for estimation of natural mortality rate of fishes (as an example for peled of Endyr lake)]. *Fishing industry*, 1982, No. 3. 36–37 pp. (In Russ.)
27. Zykova G.F., Zykov L.A. [Estimation of the coefficients of natural mortality rate of fish in different age groups]. Abstracts of the IVs All-Union scientific conference on the problems of long-term forecasting (long-term aspects). Murmansk: VNIRO-PINRO, 1989. 83–85 pp. (In Russ.)
28. Osadchy V.M. [Regulation of fisheries and fisheries management strategy in the Curonian Lagoon]: Abstract. diss. cand. biol. Sciences. Kaliningrad, 2000. 24 p.

Об авторах

Шibaев Сергей Вадимович,

доктор биологических наук, профессор
заслуженный работник рыбного хозяйства
Российской Федерации, заведующий кафедрой
ихтиологии и экологии
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»
236022, Калининград, Советский проспект, 1
(4012) 99-59-32; shibaev@klgtu.ru

Шibaев Леонид Вадимович,

начальник экспериментального рыбоводного
цеха отдела водных биоресурсов
ФГБНУ «Атлантический научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства и океанографии» (АтлантНИРО)
236022, Россия, г. Калининград,
ул. Дм. Донского, 5
+7 962-254-77-69; shibaev.lv@gmail.com

About the authors

Shibaev Sergy V.,

Doctor Sc. (Biology), professor, honored worker
of the fishing industry of the Russian Federation,
head of the chair of ichthyology and ecology

Kaliningrad State Technical University FSBIHE
236022, Kaliningrad, Sovetsky Pr., 1
(4012) 99-59-32; shibaev@klgtu.ru

Shibaev Leonid V.,

Chief of the experimental fish-breeding unit of the
department of bioresources
FSBRI Atlantic Research Institute of Fishery and
Oceanography (AtlantNIRO)
236022, Russia, Kaliningrad, Dm. Donskogo St., 5
+7 962-254-77-69; shibaev.lv@gmail.com