

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

ВОПРОСЫ РЫБОЛОВСТВА

Том 21 №2 2020

Апрель — июнь

Основан в 2000 г.
Выходит 4 раза в год
ISSN 0234-2774

Главный редактор:
О.А. Булатов

Редакционный совет:
К. В. Колончин (председатель),
А. А. Байталюк, В. А. Беляев, Э. В. Бубунец
А. В. Долгов, А. В. Жигин, А. М. Каев,
А. Н. Котляр (научный редактор),
А. А. Лукин, Д. С. Павлов, Г. И. Рубан, Г. Е. Серветник,
А. А. Смирнов, Е. Н. Шадрин, В. П. Шунтов

Заведующая редакцией *Е. В. Трегубова*
Адрес редакции: 107140, Москва,
ул. Верхняя Красносельская, д. 17,
тел.: 8 (499) 264-65-33, e-mail: vr@vniro.ru



FEDERAL AGENCY FOR FISHERIES

PROBLEMS OF FISHERIES

Vol. 21 issue 2 2020

April – june

Founded in 2000

Four issues every year

ISSN 0234-2774

Editor-in-chief:

O.A. Bulatov

Editorial Board:

K.V. Kolonchin (Chairman),

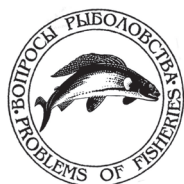
A.A. Baitalyuk, V.A. Belyaev, E.V. Bubunets,

A.V. Dolgov, A.M. Kaev,

A.N. Kotlyar (Scientific Editor), A.A. Lukin,

D.S. Pavlov, G.I. Ruban, G.E. Servetnik, E.N. Shadrin,

V.P. Shuntov, A.A. Smirnov, A.V. Zhigin



Staff Editor *E.V. Tregubova*

Address of the Editorial Office: Nr. 17,

Verkhnyaya Krasnosel'skaya, 107140, Moscow

Phone: 8 (499) 264-65-33, e-mail: vr@vniro.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

- Основные элементы биологической структуры тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* (Salmoniformes, Salmonidae) Магаданского региона в начале XXI в.
М. Н. Горохов, В. В. Волобуев, А. В. Ямборко, А. А. Смирнов 131
- Нельма *Stenodus leucichthys nelma* (Pallas, 1773) (Salmoniformes, Coregonidae) р. Енисей: структура популяции, промысел, воспроизводство
В. А. Заделёнов, Е. В. Дербинева 156

БИОЛОГИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ

- Современное состояние ихтиофауны курских водохранилищ
А. Д. Быков 169
- Видовой состав, численность и рост сеголеток рыб в Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища в летний период
В. А. Кузнецов, Ю. А. Северов, В. В. Кузнецов, И. Р. Шакиров 181

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

- Определение оптимальной массы и плотности посадки молоди судака (*Sander lucioperca*) при переводе из прудов в промышленные условия
А. А. Лютиков, А. Е. Королев 188
- Оценка промыслового возврата Амурского осетра *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae) от молоди искусственного воспроизводства
В. Н. Кошелев, Л. А. Зыков 203

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Современные проблемы оценки запаса северной креветки в Баренцевом море
С. В. Баканев 218
- Применение методов частиц при Байесовском оценивании временных рядов численности и уловов по возрастам
И. И. Шевченко 235
- Современные системы позиционирования судов и возможности их использования для оптимизации научно-информационного обеспечения отечественного промысла
Г. Е. Маслянкин, М. М. Дубищук, Е. М. Гербер, А. А. Вафиев 250

CONTENTS

REVIEWS

- Basic elements of the biological structure of Pacific Salmon of the genus *Oncorhynchus* (Salmoniformes, Salmonidae) of Magadan region in the early of XXI century
M. N. Gorokhov, V. V. Volobuyev, A. V. Yamborko, A. A. Smirnov 131
- Inconnu *Stenodus Leucichthys nelma* (Pallas, 1773) (Salmoniformes, Coregonidae) river Yenisei: population structure, fishery, reproduction
V. A. Zadelenov, E. V. Derbineva 156

BIOLOGY OF COMMERCIAL HYDROBIONTS

- Current state of the ichthyofauna of Kursk reservoirs
A. D. Bykov 169
- Specific structure, abundance and growth fish fingerlings in the summer period in the Meshinsky Gulf of the Kuibyshev Reservoir
V. A. Kuznetsov, Yu. A. Severov, V. V. Kuznetsov, I. R. Shakirov 181

AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION

- Determination of the optimal weight and density of juvenile Pikeperch (*Sander lucioperca*) after transfer from pond to industrial conditions
A. A. Lyutikov, A. E. Korolev 188
- Assessment of commercial return of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae) from artificial reproduction juveniles
V. N. Koshelev, L. A. Zykov 203

METHODOLOGICAL ASPECTS OF FISHERY RESEARCH

- Modern challenges of the Northern shrimp stock assessment in the Barents Sea
S. V. Bakanev 218
- Sequential particle methods for Bayesian evaluations of abundance and catch at age
I. Shevchenko 235
- Modern vessel position systems and possibilities of their application to optimize scientific and information support of domestic fisheries
G. E. Maslyankin, M. M. Dubishuk, E. M. Gerber, A. A. Vafiyev 250

УДК 597.552.511. (265.53)

**ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ
ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ РОДА *ONCORHYNCHUS*
(*SALMONIFORMES*, *SALMONIDAE*) МАГАДАНСКОГО РЕГИОНА
В НАЧАЛЕ ХХІ В.**

© 2020 г. М. Н. Горохов¹, В. В. Волобуев¹, А. В. Ямборко¹, А. А. Смирнов^{2,3}

¹Магаданский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (МагаданНИРО), г. Магадан, 685000

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, 107140

³Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, 685000
E-mail: volobuev@magadanniرو.ru

Поступила в редакцию 22.04.2020 г.

Представлены сведения о возрастной структуре, размерно-массовых характеристиках производителей, плодовитости и соотношении полов четырех видов тихоокеанских лососей, воспроизводящихся в водоемах Магаданской области. Показаны изменения, произошедшие в биологических характеристиках четырех видов тихоокеанских лососей за первое 20-летие (2001–2019 гг.) века в основных популяциях горбуши, кеты, кижуча и нерки. Установлено наличие клинальной изменчивости размерно-весовых характеристик у горбуши и кижуча в широтном направлении. Горбуша нечетного ряда поколений отличается более крупным габитусом. Отмечено увеличение среднего возраста кеты в начале ХХІ в. по отношению к концу ХХ в. В популяциях кижуча установлено преобладание особей с двумя пресноводными годами жизни. В течение анадромной миграции этого вида размерно-массовые параметры производителей снижаются. Нерка представлена лимнофильной и реофильной формами. В популяциях лимнофильной нерки отмечены резидентные карликовые самцы и самки.

Ключевые слова: горбуша, кета, кижуч, нерка, размерно-массовые характеристики, возрастная структура, соотношение полов, плодовитость.

ВВЕДЕНИЕ

На материковом побережье Охотского моря в пределах Магаданской области обитают пять видов тихоокеанских лососей — горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum), кета *O. keta* (Walbaum), кижуч *O. kisutch* (Walbaum), нерка *O. nerka* (Walbaum) и чавыча *O. tshawytscha* (Walbaum). Преобладающими по численности видами являются горбуша и кета, составляющие более 90% в общих подходах лососей. Кижуч добывается как сопутствующий вид при промысле поздней формы кеты. Нерка образует несколько немногочисленных популяций, имеет небольшое промысловое значение

и добывается в основном как объект любительского рыболовства. Чавыча в уловах встречается единично, промыслового значения не имеет. Каждый из перечисленных видов характеризуется видоспецифическими чертами биологии, репродуктивной экологии, динамики численности (Волобуев, Марченко, 2011; Волобуев и др., 2016, 2017, 2019).

Биологическая структура тихоокеанских лососей включает в себя ряд важных показателей, определяющих биомассу запаса, длительность жизненного цикла, сроки океанического нагула, репродуктивный потенциал и др., которые различны для каждого вида. Биологическая структура тихоокеанских ло-

сосей является важным многофакторным показателем, характеризующим видовую и эпигенетическую специфику, сопряженную с условиями обитания в пресных, морских и океанических водах в онтогенезе каждого вида. Самой простой биологической структурой из всех видов тихоокеанских лососей характеризуется горбуша, наиболее сложную структуру имеет нерка. Характерной особенностью биологии тихоокеанских лососей является то, что все они являются моноциклическими видами: размножаются один раз в жизни, а затем погибают. Цель статьи — показать современное состояние и динамику основных биологических характеристик тихоокеанских лососей северо-восточного участка материкового побережья Охотского моря в пределах Магаданской области в первом 20-лети XXI в.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для работы получен во время ежегодных мониторинговых исследований тихоокеанских лососей, проведенных Магаданским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО») на нерестовых лососевых водоемах Магаданской области в период с 2001 по 2019 гг. (рис. 1). Сбор и обработка материалов проводились в соответствии с рекомендациями И. Ф. Правдина (1966). В течение анадромной миграции лососей с начала и до ее окончания раз в пятидневку собирались пробы полного биологического анализа (ПБА), которые включали: массу рыб полную и без внутренностей, массу гонад, длину тела по Смитту (SL), пробы чешуи для определения возраста, навески икры для определения индивидуальной абсолютной плодовитости (АП), пол и стадию зрелости гонад. Стандартный объем одной пробы составлял 100 экз. лососей. Гонадо-соматический индекс (ГСИ) определялся как отношение массы гонад к массе рыбы без внутренностей, выраженное в процентах. В некоторых таблицах (2, 6, 7, 12, 13) приведены данные за определенные конкретные годы, т.к. по ним имеется

наиболее показательный и представительный материал. Всего на ПБА собрано и обработано лососей: горбуша — 66083 экз.; кета — 48615 экз.; кижуч — 18696 экз.; нерка — 750 экз. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы стандартных компьютерных программ «Statistica 7.0». Исторически в регионе сложилась структура промысла лососей, включающая два района: зал. Шелихова и Тауйская губа. Граница между ними проходит по меридиану $153^{\circ}30'$ в.д. Залив Шелихова включает в себя популяции лососей Гижинской и Ямской групп рек. Тауйская губа включает в себя популяции лососей Ольской и Тауйской групп рек. В связи с этим, для горбуши и кеты в таблицах указаны усредненные величины основных биологических показателей по группам рек и районам промысла.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Горбуша

Горбуша в Магаданской области является преобладающим промысловым видом. Ее доля в общем вылове лососей по урожайным нечетным годам подходов достигает 85%, по нечетной линии лет ее доля составляет около 28%. Следует отметить неустойчивость состояния запасов североохотоморской горбуши, обусловленную в основном факторами среды, оказывающими влияние на выживаемость поколений в пресноводный и ранний морской периоды жизни. В отличие от горбуши, размножающейся на Камчатке или Сахалине, горбуша Магаданской области воспроизводится нередко в экстремальных условиях, близких к границе ареала: низкие зимние температуры воздуха (до $-45^{\circ}C$), малоснежные зимы, вызывающие обсыхание и промерзание нерестилищ, периодическая высокая ледовитость побережья в период ската молоди. Если на этот фон накладывается перелов, тогда ее запасы переходят в депрессивное состояние, выход из которого может длиться до 15–20 лет. Такая депрессия численности

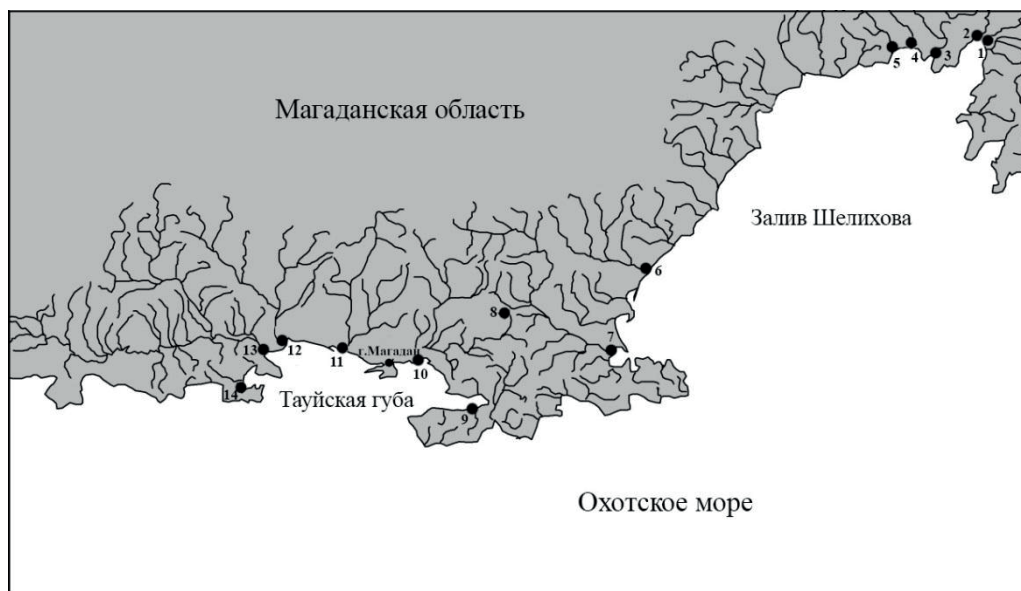


Рис. 1. Карта-схема побережья Магаданской области и пункты сбора материала: 1 — р. Авекова; 2 — р. Гижига; 3 — р. Вархалам; 4 — Большая Гарманда; 5 — р. Наяхан; 6 — р. Туманы; 7 — р. Яма; 8 — оз. Киси; 9 — р. Кулькуты; 10 — р. Ола; 11 — р. Армань; 12 — р. Яна; 13 — р. Тауй; 14 — р. Улукан

лососей на Дальнем Востоке, обусловленная, в том числе, и широкомасштабным судовым японским промыслом лососей российского происхождения в северо-западной части Тихого океана в 1950–1960-х годах, наблюдалась в середине 1960-х–1970-х годов (Волобуев, Марченко, 2011). В те годы вылов горбуши в регионе составлял всего несколько десятков тонн.

До 2012 г. на охотоморском побережье Магаданской области наблюдалась 2-летняя циклика в колебаниях запасов горбуши: урожайными по численности подходов были поколения нечетных лет и, соответственно, низкоурожайными были ее поколения четных лет возвратов на нерест. В 2012–2014 гг. произошло снижение запасов горбуши, по обоим рядам поколений, что было обусловлено мощной ледовитостью побережья в 2012–2013 гг. Ледовые массивы в прибрежье в эти годы держались до конца июня и значительная часть поколений горбуши погибла от температурного стресса и дефицита кормовой базы (Изергина и др., 2013). Восстановление запасов по линии нечетных лет началось с 2015 г., по линии четных лет — с 2016 г. В настоящее время

(2016–2019 гг.) отмечается рост подходов горбуши по обоим линиям воспроизводства: до 12 млн рыб по четному ряду и до 17 млн рыб по нечетному ряду поколений.

Возрастной состав

Возрастная структура горбуши самая простая из всех видов тихоокеанских лососей. Абсолютное большинство рыб созревает в возрасте двух лет (1+). В литературе имеются сведения о случаях ее созревания в возрасте сеголеток — 0+ (Иванков и др., 1975; Ефанов, Кочнева, 1980; Никифорова, 1996; Каев, 2002, 2003; Точилина, Смирнов, 2015) и 2+ лет (Кагановский, 1949; Лапин, 1971; Енюткина, 1972; Смирнов, 1975; Иванов, 1996; Апас, 1959), но случаи созревания горбуши в возрасте 0+ и 2+ лет не носят массового характера. По литературным данным, размер зрелых сеголетков (самцов) составляет всего 24–32 см, с массой тела — 0,20–0,37 кг (Никифорова, 1996; Точилина, Смирнов, 2015). Известен пример образования смежной линии поколений горбуши в оз. Верхнее (Великие Североамериканские озера) в результате вселения рыб одного поколения за счет со-

зревания части рыб в трехлетнем возрасте (Kwain, Chappel, 1978).

Длина и масса тела

Горбуша североохотоморского побережья имеет сравнительно небольшие размеры и массу тела по сравнению с горбушей, воспроизводящейся в других районах Дальнего Востока. За период 2001–2019 гг. изменение длины тела производителей варьировало в широких пределах и составило 31–69 см, при среднегодовых показателях длины 44,3–50,4 см, соответственно, массы тела – 0,31–4,19 кг, при среднегодовых показателях – 1,06–1,5 кг.

Если рассматривать в целом размерные характеристики всех производителей за два последних десятилетия (с начала XX в.), то можно отметить их незначительное снижение (рис. 2 а, б).

Наиболее мелкая горбуша обитает в реках Гижигинской губы: среднеемноголетние показатели ее длины и массы тела в этом районе составляют 47 см и 1,25 кг. Среднеемноголетние величины размеров, массы тела, индивидуальной абсолютной плодовитости (АП) и доли самок охотоморской горбуши по основным группам водоемов приведены в таблице 1. Наиболее крупной является горбуша Ольской и Тауйской групп рек по линиям четных и нечетных лет (Горохов и др., 2019) (табл. 1). Горбуша, воспроизводящаяся в реках зал. Шелихова, в целом мельче горбуши Тауйской губы: на 4% по длине тела и на 10%

по массе. В пределах рек магаданского побережья за период наблюдений (2001–2019) отмечено увеличение размерных характеристик тела производителей горбуши в юго-западном направлении. В отдельные годы по этим признакам отмечена клинальная изменчивость в широтном направлении (Волобуев и др., 1998). По нашим материалам, горбуша высокочисленных нечетных лет крупнее горбуши поколений четной линии лет в среднем на 0,7–1,4 см и на 0,02–0,07 кг (табл. 1). Эти данные согласуются с ранее установленными закономерностями для горбуши Магаданского региона (Волобуев, Марченко, 2011) и подтверждаются данными других авторов (Енютина, 1972; Иванова, 2003; Антонов, 2011).

Основные биологические характеристики горбуши различных стад Магаданского региона приведены в таблице 2.

На азиатском участке ареала горбуша северо-восточной части материкового побережья Охотского моря по массе тела ближе всего к горбуше Восточной Камчатки и Южных Курил (Takagi et al., 1981, цит. по Heard, 1991). Горбуша из южных регионов Дальнего Востока более крупная.

Соотношение полов

Динамика соотношения полов в нерестовых подходах горбуши Магаданской области в целом соответствует обычной схеме, известной для тихоокеанских лососей: в начале анадромной миграции к нерестовым рекам

Таблица 1. Основные среднеемноголетние биологические показатели североохотоморской горбуши за 2001–2019 гг. по линиям четных и нечетных лет

Группа рек	Генеративные линии	Длина SL, см	Масса, кг	АП, икр.	Доля самок, %	п, экз.
Гижигинская	четная	46,6	1,24	1440	53,8	
	нечетная	47,3	1,26	1565	53,0	20325
Ольская	четная	46,8	1,25	1344	50,3	
	нечетная	48,2	1,32	1396	50,9	18834
Тауйская	четная	47,5	1,31	1429	51,4	
	нечетная	48,8	1,36	1459	48,4	26924

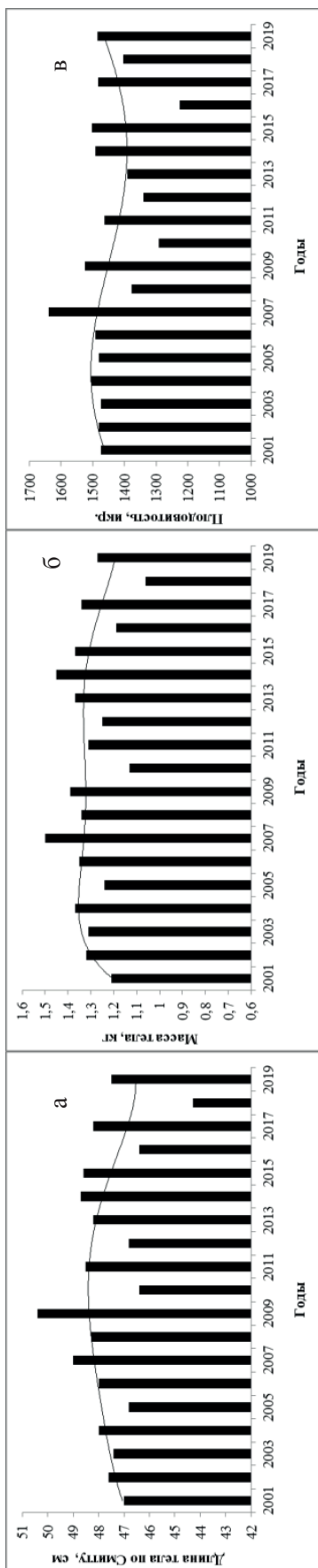


Рис. 2. Динамика длины (а), массы тела (б) и плодовитости (в) североохотоморской горбуши в начале XXI в.

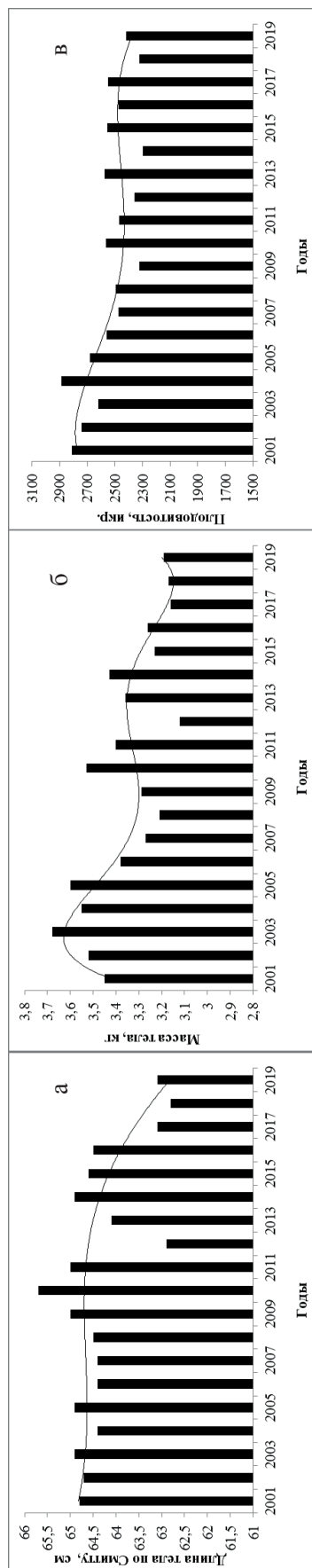


Рис. 3. Динамика длины (а), массы тела (б) и плодовитости (в) североохотоморской кеты в начале XXI в.

Таблица 2. Биологическая характеристика североохотоморской горбуши по районам промысла, 2002 г.

Река	Длина, S_L , см		Масса, кг		ГСИ, %		АП, икр.	Доля самок, %	п, экз.		
	самцы	самки	оба пола	самцы	самки	оба пола				самцы	самки
Авекова	43,2±0,5	43,6±0,2	43,4±0,3	1,00±0,04	0,99±0,02	0,99±0,02	5,66±0,19	9,11±0,17	1330±270	58,0	131
	37,5–56,8	38,9–49,5	37,5–56,8	0,52–2,09	0,63–1,45	0,52–2,09	2,08–8,78	4,91–13,83	723–1782		
Гижига	46,3±0,5	45,7±0,3	46,0±0,3	1,14±0,03	1,11±0,02	1,12±0,02	7,89±0,27	14,31±0,26	1674±220	52,9	225
	37,5–61,0	36,8–56,0	36,8–61,0	0,70–2,63	0,59–1,93	0,59–2,63	2,45–14,95	8,02–22,95	700–2340		
Б. Гарманда	49,0±0,4	45,6±0,2	47,4±0,2	1,55±0,04	1,18±0,02	1,38±0,03	7,34±0,15	11,17±0,15	1563±240	47,5	200
	40,0–56,5	41,5–49,5	40,0–56,5	0,82–2,45	0,81–1,55	0,81–2,45	3,70–10,29	7,48–16,82	966–2508		
Наяхан	46,5±1,7	44,9±0,8	45,6±0,9	1,46±0,14	1,21±0,06	1,32±0,07	5,77±0,35	9,93±0,59	1329±420	56,0	25
	40,0–56,9	42,0–51,0	40,0–56,9	1,05–2,44	1,02–1,70	1,02–2,44	3,64–7,21	6,48–15,38	1103–1674		
Туманы	47,6±0,7	45,4±0,3	46,5±0,4	1,39±0,05	1,16±0,02	1,27±0,03	7,42±0,24	11,97±0,23	1539±390	51,0	100
	37,0–56,0	40,0–51,0	37,0–56,0	0,74–2,20	0,71–1,73	0,71–2,20	4,45–10,83	8,09–15,00	1005–2265		
Яма	49,3±0,6	46,3±0,2	47,6±0,3	1,52±0,06	1,20±0,02	1,34±0,03	7,29±0,32	11,12±0,27	1402±480	57,0	100
	39,0–60,0	43,0–50,5	39,0–60,0	0,73–2,76	0,89–1,54	0,73–2,76	2,54–14,58	4,23–15,15	688–2150		
залив Шелихова	47,2±0,3	45,3±0,1	46,2±0,1	1,32±0,02	1,12±0,01	1,22±0,01	7,25±0,11	11,81±0,14	1531±150	52,6	756
	37,0–61,0	36,8–56,0	36,8–61,0	0,52–2,76	0,59–1,93	0,52–2,76	2,08–14,95	4,23–22,95	688–2508		
Кулькуты	51,0±0,2	47,6±0,2	49,7±0,2	1,49±0,02	1,17±0,02	1,37±0,02	6,67±0,11	12,69±0,17	1468±170	37,8	445
	40,0–64,0	42,5–53,0	40,0–64,0	0,67–2,95	0,75–1,77	0,67–2,95	2,48–12,72	7,90–18,60	762–2402		
Ола	47,0±0,3	44,7±0,2	45,8±0,2	1,41±0,03	1,14±0,01	1,27±0,02	6,81±0,12	10,16±0,09	1336±180	51,5	410
	33,5–59,0	36,5–52,0	33,5–59,0	0,49–3,23	0,61–1,61	0,49–3,23	0,89–11,91	5,26–14,25	690–2088		
Армань	50,5±0,3	46,8±0,2	48,7±0,2	1,56±0,03	1,20±0,02	1,38±0,02	6,87±0,16	11,05±0,17	1444±310	48,2	361
	39,0–65,4	40,5–52,2	39,0–65,4	0,72–3,16	0,65–1,69	0,65–3,16	1,73–13,54	4,92–18,13	360–2697		
Яна	49,5±0,2	47,2±0,1	48,3±0,1	1,49±0,02	1,24±0,01	1,36±0,01	7,07±0,13	11,41±0,11	1527±190	51,3	1340
	32,5–63,0	41,0–59,3	32,5–63,0	0,43–3,04	0,52–2,63	0,43–3,04	1,59–16,73	5,14–18,78	490–2900		
Тауй	47,9±0,3	46,0±0,1	46,9±0,2	1,42±0,03	1,23±0,01	1,32±0,02	7,44±0,12	11,03±0,11	1514±150	52,0	435
	36,5–56,0	39,5–54,5	36,5–56,0	0,59–2,29	0,77–2,06	0,59–2,29	2,96–12,1	7,38–18,13	960–2153		
Улукан	49,9±0,3	47,5±0,2	49,0±0,2	1,25±0,07	1,15±0,06	1,22±0,05	7,50±0,42	10,75±1,25	1326±232	37,0	349
	40,0–61,5	38,5–52,5	38,5–61,5	1,01–1,55	1,05–1,32	1,01–1,55	5,81–8,91	7,27–13,33	768–1712		
Тауйская губа	49,3±0,1	46,6±0,1	48,0±0,1	1,48±0,01	1,21±0,01	1,35±0,01	6,96±0,06	11,23±0,06	1461±9	49,0	2991
	32,5–65,4	36,5–59,3	32,5–65,4	0,43–3,23	0,52–2,63	0,43–3,23	0,89–16,73	4,92–18,78	360–2900		
Северное побережье	48,9±0,1	46,4±0,1	47,6±0,1	1,45±0,01	1,19±0,001	1,32±0,01	7,03±0,05	11,39±0,06	1481±8	49,8	3747
	32,5–65,4	36,5–59,3	32,5–65,4	0,43–3,23	0,52–2,63	0,43–3,23	0,89–16,73	4,23–22,95	360–2900		

Примечание: здесь и далее над чертой — среднее значение признака и ошибка средней, под чертой — его колебания.

главным образом подходят самцы, в середине хода соотношение полов примерно равно и в конце хода преобладают самки. Однако, благодаря наличию нескольких темпоральных группировок (Марченко, 1999, 2001), на протяжении нерестовой миграции соотношение полов может нарастать неравномерно. В целом, соотношение самцов и самок близко к равному (табл. 2, 3).

Плодовитость

Средние значения абсолютной плодовитости по линиям четных и нечетных лет для горбуши основных нерестовых рек варьируют от 1225 до 1639 (в среднем 1449) икр. при колебаниях признака от 132 до 5288 икр. Динамика среднегодовых показателей плодовитости североохотоморской горбуши показывает некоторое снижение после 2007 г. и последующий рост после 2013 г. (рис. 2 в). Горбуша поколений нечетных лет характеризуется большей абсолютной плодовитостью (табл. 1). Гонадо-соматический индекс самок горбуши варьировал в широких пределах — 4,23–22,95 (в среднем 11,39)%, что обусловлено протяженностью водотоков и временем взятия проб. Поимка производителей горбуши с более зрелыми половыми продук-

тами, как правило, сигнализирует о близости мест размножения, и косвенно информирует о скором завершении хода. Степень зрелости выше у горбуши популяций коротких рек и ближе к завершению хода. Горбуша североохотоморского побережья, по сравнению с популяциями других участков ареала, имеет близкие показатели плодовитости с горбушей Камчатки, северо-восточного Сахалина и Южных Курил (Кагановский, 1949; Гриценко и др., 1987; Мидяная, 2004; Гриценко и др., 2012).

Кета

Кета в Магаданской области представлена двумя экологическими формами — ранней и поздней (Волобуев, 1983; Волобуев и др., 1990, 2005). Сезонные формы (расы) кеты различаются по численности, срокам нерестового хода, местам и срокам размножения. Популяции кеты могут обитать как симпатрично в бассейне одной реки, так и аллопатрично, когда в одних реках воспроизводится ранняя форма, а в других — поздняя. Сроки нерестового хода у кеты обеих форм трангрессируют, поэтому бывает сложно строго дифференцировать одну форму от другой. В наших материалах пробы кеты ха-

Таблица 3. Динамика доли самок у североохотоморской горбуши в период анадромной миграции, %

Река, год	Даты взятия проб, пентады										Средняя, %	п, экз.
	VI.06	I.07	II.07	III.07	IV.07	V.07	VI.07	I.08	II.08	III.08		
Яна, 2009 г.	—	42,0	37,0	46,0	—	34,0	50,0	64,0	62,0	62,0	46,0	700
Тауй, 2010 г.	22,4	44,0	47,0	55,0	66,0	74,0	74,0	65,1	—	—	54,6	678
Тауй, 2011 г.	24,5	19,0	21,0	45,0	67,0	63,0	—	—	—	—	44,7	649
Яма, 2014 г.	—	44,0	46,0	61,0	54,0	62,7	—	—	—	—	52,9	467
Ола, 2014 г.	48,0	44,0	49,1	54,1	56,2	60,6	—	52,9	58,1	70,0	53,3	400
Кулькуть, 2018 г.	—	35,7	47,6	35,5	42,0	52,0	53,5	56,8	60,0	—	49,3	690

рактируют смешанные выборки кеты обеих форм. В 1930–1940-е годы подходы кеты к побережью Магаданской области были значительно выше их современной величины и большую часть их составляла ранняя форма кеты. Согласно имеющейся статистике, в те годы вылов кеты достигал 10–13 тыс. т (Уловы..., 1989). Однако в результате депрессии численности на Дальнем Востоке, наступившей в середине 1960-х годов, вследствие, в том числе, и бесконтрольного крупномасштабного судового промысла дальневосточных лососей японскими рыбодобытчиками в северо-западной части Тихого океана на местах их нагула и преднерестовых миграций, запасы кеты материкового побережья Охотского моря сократились более чем на порядок (Костарев, 1983). В результате в последующие годы запасы кеты в Магаданской области поддерживались на невысоком уровне и в основном за счет ее поздней формы, а доля ранней формы составляла лишь 5–6% от общих подходов (Волобуев, Голованов, 2001). К настоящему времени запасы североохотоморской кеты достигли 2,2–2,5 млн рыб (около 70% от их исторического максимума). При этом до 50–60% подходов составляет ранняя форма кеты.

Возрастной состав

Кета, воспроизводящаяся в реках Магаданской области, возвращается на нерест в возрасте 1+ – 6+ лет. Самая малочисленная группа представлена двухлетками – 1+. Кета этой возрастной категории встречается единично и не ежегодно (1–3 экз.). Следует отметить, что ранее на протяжении двенадцати лет (1998–2009 гг.) среднемноголетняя доля рыб основной массы возвращающихся в четырех- (3+) и пятилетнем возрасте (4+), несущественно отличалась и составляла 44,2 и 46,3% соответственно (Волобуев, Марченко, 2011). При рассмотрении среднемноголетних данных за более современный и продолжительный период (2001–2019 гг.), особи возрастной группы 4+ представлены уже ощутимо многочисленнее (52,4% против 46,3%) (табл. 4). То есть кета, видимо, стала

более тугорослой и больше времени проводит на нагуле в океане.

За прошедший период (2001–2019 гг.) средний возраст особей кеты Гижигинской группы рек варьировал от 3,12 до 4,03 лет, при среднем значении в 3,58 лет, кеты Ямской группы – 3,35–4,20 лет (в среднем 3,67), Ольской группы – 3,18–4,34 лет (в среднем 3,83), Тауйской – 3,40–3,98 лет (в среднем 3,7 года) (табл. 5).

Следует отметить, что по сравнению с показателями среднего возраста кеты второй половины XX в. (1970–1980 гг.), которые составляли 3,26–3,45 года (Волобуев, Марченко, 2011), аналогичные характеристики среднего возраста кеты начала XXI в. выше на 0,32–0,34 года. Это, видимо, свидетельствует о том, что североохотоморская кета стала позднее созревать и больше времени проводить на нагуле в океане. Снижение темпов роста приводит в целом к замедлению скорости накопления энергии и биомассы кеты, уменьшению энергопотока аллохтонной органики из океана к местам размножения, снижению ее воспроизводительной способности (Волобуев и др., 2017). Возможно, это является следствием ухудшения условий нагула или ограниченности кормовой базы экосистемы северо-западной части Тихого океана, обусловленными общим ростом численности дальневосточных лососей и кеты, высокими плотностными зависимостями, в том числе за счет искусственного воспроизводства (Гриценко и др., 2001; Кловач, 2003; Bigler et al., 1996; Heard, 1998). По данным Хёрда (Heard, 1998), общая численность одновременно нагуливающейся неполовозрелой части азиатских и североамериканских стад лососей оценивается в 25 млрд рыб, из которых до 25% составляет доля искусственно воспроизведенных лососей. В связи с этим значительно возросли непродуктивные траты энергии: более тугорослые рыбы потребляют корма почти на треть больше (Гриценко и др., 2001).

При рассмотрении динамики возрастного состава в течение анадромной миграции следует отметить, что в начале нерестового

Таблица 4. Возрастной состав североохотоморской кеты в 2001–2019 гг. по группам рек, %

Группа рек	Возраст, лет						п, экз.
	1+	2+	3+	4+	5+	6+	
Гижигинская	—	2,4	43,7	48,6	5,2	0,1	11472
Ямская	—	1,8	33,6	52,7	11,6	0,3	12941
Ольская	ед.	0,8	26,9	55,2	15,7	0,4	6751
Тауйская	—	1,5	36,6	52,5	9,1	0,3	17451
Общее	ед.	1,6	35,2	52,4	10,5	0,3	48615

Таблица 5. Средний возраст североохотоморской кеты в подходах по группам рек по пятилетиям в 2001–2019 гг.

Годы	Группы рек			
	Гижигинская	Ямская	Ольская	Тауйская
2001–2005	3,40	3,69	3,77	3,65
2006–2010	3,77	3,82	3,75	3,67
2011–2015	3,62	3,77	3,97	3,90
2016–2019	3,51	—	3,85	3,54
2001–2019	3,58	3,76	3,83	3,70

Таблица 6. Динамика возрастных групп североохотоморской кеты в процессе нерестовой миграции в р. Тауй, 2004 г., %

Возраст, лет	Даты взятия проб										п, экз.
	12.07	17.07	22.07	27.07	01.08	13.08	18.08	23.08	28.08	03.09	
2+	1,0	—	3,0	1,0	1,0	—	1,0	1,0	2,0	5,0	15
3+	42,0	37,0	40,0	57,0	58,0	63,0	76,0	87,0	88,0	78,0	626
4+	43,0	54,0	42,0	37,0	34,0	34,0	23,0	12,0	9,0	17,0	305
5+	13,0	9,0	14,0	5,0	7,0	3,0	—	—	1,0	—	51
6+	1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	2

хода преобладают рыбы старшевозрастных групп — 6+ — 4+ лет, а к окончанию нерестового хода их доля снижается. Начинает увеличиваться доля четырехлетних рыб (3+) и к концу миграции она превышает 80%. В конце нерестовой миграции в уловах увеличивается доля трехлетних особей (2+). Как правило, в зависимости от выживаемости и численности формирующихся поколений,

в подходах доминируют рыбы двух возрастных групп — 3+ и 4+ лет (табл. 6).

Длина и масса тела

Согласно проведенным мониторинговым работам, минимальная длина североохотоморской кеты составляла 40 см, максимальная — 83 см, масса, соответственно, 1,03 и 7,90 кг. Средние по годам наблюдений

размеры и масса тела кеты колебались в пределах 62,8–65,0 см и 3,12–3,68 кг соответственно. Самцы североохотоморской кеты, как правило, крупнее самок. Динамика среднегодовых показателей длины и массы тела показывает их значительное снижение — на 2–3 см и на 0,5–0,6 кг с начала 2000-х годов к 2019 г. (рис. 3 а, б). По-видимому, причина этого заключается в изменении условий и состояния кормовой базы экосистемы Северо-Западной Пацифики, где происходит нагул азиатских лососей. К такому же выводу приходит ряд исследователей (Гриценко и др., 2001; Черешнев, 2008; Волобуев, Марченко, 2011; Ishida et al., 1993; Helle, Hoffman, 1995, 1998; Ricker, 1995; Bigler et al., 1996; Kaeriyama, 1996).

Изменение размерно-массовых характеристик производителей кеты в течении нерестового хода объясняется как увеличением в подходах младшевозрастных особей (2+, 3+), так и самок в связи с их меньшими размерами, чем у самцов.

К началу XXI в. заметно (с 6 до 48%) возросла в подходах доля кеты ранней формы (Волобуев, Голованов, 2001). В настоящее время (2018–2019 гг.) ее численность, судя по уловам, увеличилась до 56–60%. Кета ранней формы отличается от поздней по срокам нерестового хода и ряду биологических показателей, в том числе по длине и массе тела: ранняя кета в среднем мельче поздней (Медников и др., 1988; Волобуев и др., 1990). Основные биологические характеристики кеты по группам рек приведены в таблице 7. Отмечено, что происходит увеличение размеров и массы тела кеты в широтном направлении: от р. Гижига до р. Тауй.

Соотношение полов

Доля самок в подходах кеты в 2001–2019 гг. изменялась от 47,4 до 55,0%, в среднем составила 51,0%. Соотношение полов неодинаково в различных возрастных группах. У молодых рыб в возрасте 2+, как правило, преобладают самцы, у 6–7-леток — самки (табл. 8). В наиболее массовых возрастных группах 3+ и 4+ соотношение

полов близкое к равному. В среднем по всем возрастным группам несколько преобладали самки — 50,1–54,2%. Соотношение полов меняется в течение анадромной миграции. В начале нерестового хода преобладают самцы — до 65–70%, в середине соотношение самцов и самок выравнивается, а к концу его начинают доминировать самки — до 60–65%.

Плодовитость

Пределы варьирования абсолютной плодовитости кеты основных популяций в 2001–2019 гг. составили 358–10332 икр., изменение этого показателя в среднемноголетнем диапазоне значений составило 2299–2888 икр. Динамика среднегодовых показателей плодовитости североохотоморской кеты показывает ее снижение к концу второго десятилетия XXI в., что обусловлено снижением размеров и массы тела (рис. 3 в).

Кета ранней формы имеет большую плодовитость по сравнению с одноразмерными особями поздней кеты, что обусловлено меньшими размерами икринок (Медников и др., 1988; Волобуев и др., 1990). Размер икринок зависит от стадии их развития. Кета, размножающаяся в реках большей протяженности, имеет менее зрелую, более мелкую икру и, наоборот, в малые реки она подходит с более крупной зрелой икрой. Наибольшая средняя величина плодовитости отмечена у кеты р. Яма — 2781 икр. (табл. 7). Абсолютная плодовитость североохотоморской кеты близка к плодовитости летней сахалинской, летней амурской и западнокамчатской кеты (Николаева, 1974; Платошина, 1984; Гриценко и др., 1987).

Кижуч

Кижуч в Магаданской области является второстепенным объектом промысла и добывается как сопутствующий вид при промысле поздней формы кеты. Его доля в общих уловах тихоокеанских лососей в 2001–2019 гг. варьировала в пределах от

Таблица 7. Биологическая характеристика североохотоморской кеты по группам рек, 2004 г.

Река	Длина SL, см			Масса, кг			АП, икр.	Доля самок, %	п. экз.
	самцы	самки	оба пола	самцы	самки	оба пола			
Гижига	65,1±0,2	62,8±0,1	63,9±0,1	3,55±0,03	3,08±0,02	3,30±0,02	2453±120	53,5	849
	53,0–76,0	54,5–69,5	53,0–76,0	1,73–6,09	1,97–4,63	1,73–6,09	1456–4275		
Б. Гарманда	64,0±0,2	61,7±0,2	62,9±0,1	3,58±0,04	3,15±0,02	3,37±0,02	2460±26	48,2	799
	50,5–76,5	51,5–71,0	50,5–76,5	1,51–7,28	1,91–4,61	1,51–7,28	1311–5817		
Наяхан	65,2±0,3	63,6±0,2	64,4±0,2	3,65±0,05	3,26±0,03	3,45±0,03	2552±24	51,7	700
	35,0–76,0	36,0–75,0	35,0–76,0	1,73–6,28	1,32–4,96	1,32–6,28	1201–4655		
Гижигинская группа рек	64,8±0,1	62,7±0,1	63,7±0,1	3,59±0,02	3,16±0,01	3,37±0,01	2503±18	51,1	2348
	35,0–76,5	36,0–75,0	35,0–76,5	1,51–7,28	1,32–4,96	1,32–7,28	1201–5817		
Туманы	65,3±0,2	62,8±0,1	64,0±0,1	3,44±0,04	2,99±0,02	3,21±0,02	2402±25	50,9	1000
	50,0–78,0	53,0–73,0	50,0–78,0	1,55–5,96	1,61–6,23	1,55–6,23	1156–6113		
Яма	67,3±0,2	63,2±0,2	65,1±0,1	4,43±0,04	3,59±0,03	3,99±0,03	2781±25	52,4	1051
	36,5–79,0	43,5–73,0	36,5–79,0	2,22–6,99	1,84–6,34	1,84–6,99	1010–5557		
Ямская группа рек	66,3±0,1	63,0±0,1	64,6±0,1	3,94±0,03	3,30±0,02	3,61±0,02	2592±46	51,7	2051
	36,5–79,0	43,5–73,0	36,5–79,0	1,55–6,99	1,61–6,34	1,55–6,99	1010–9113		
Ола	64,4±0,4	61,2±0,3	62,8±0,3	3,62±0,06	3,04±0,05	3,33±0,04	2492±48	49,7	314
	47,0–76,0	46,0–70,0	46,0–76,0	1,41–5,25	1,91–7,10	1,41–7,10	1285–5187		
Армань	66,8±0,3	62,9±0,3	64,9±0,2	4,07±0,06	3,25±0,04	3,67±0,04	2755±40	48,3	400
	50,5–78,0	50,0–71,0	50,0–78,0	1,73–6,94	1,54–5,27	1,54–6,94	1060–4893		
Яна	68,1±0,2	64,1±0,2	66,2±0,2	4,28±0,05	3,49±0,04	3,91±0,04	2738±30	46,9	573
	51,0–77,0	50,0–73,0	50,0–77,0	1,13–6,12	1,99–5,16	1,13–6,12	1566–4530		
Тауй	67,0±0,2	62,8±0,2	64,7±0,1	4,10±0,04	3,24±0,03	3,64±0,03	2520±24	54,3	999
	53,0–80,0	49,0–73,0	49,0–80,0	1,72–6,49	1,34–5,38	1,34–6,49	584–4840		
Тауйская группа рек	66,9±0,1	62,9±0,1	64,9±0,1	4,08±0,03	3,27±0,02	3,67±0,02	2605±16	50,7	2286
	47,0–80,0	46,0–73,0	46,0–80,0	1,13–6,94	1,34–7,10	1,13–7,10	584–5187		
Северное побережье	66,0±0,1	62,8±0,1	64,4±0,1	3,87±0,02	3,24±0,01	3,55±0,01	2623±19	51,2	6685
	35,0–80,0	36,0–75,0	35,0–80,0	1,13–7,28	1,32–7,10	1,13–7,28	584–9113		

Таблица 8. Доля самок в подходах североохотоморской кеты, в 2001–2019 гг., %

Группа рек	Возраст, лет						Средняя
	1+	2+	3+	4+	5+	6+	
Гижигинская	—	11,3	53,1	45,6	46,6	100	52,8
Ямская	—	28,4	49,7	51,0	51,8	61,5	50,1
Ольская	—	30,4	54,1	56,1	52,3	34,5	54,2
Тауйская	100	43,3	54,0	52,1	49,3	45,5	52,3

0,4 до 6,5%, и в среднем составила 2,7%. Однако, несмотря на сравнительно небольшую долю в общих уловах лососей, кижуч является важным объектом промысла и особую популярность он имеет как объект спортивно-любительского рыболовства. Отмечен рост запасов североохотоморского кижуча после 2005 г. и в 2014 г. отмечены максимальные подходы его производителей в количестве 223 тыс. особей. Ход на нерест поздний — с середины августа до конца ноября.

Возрастной состав

Кижуч, как и другие виды тихоокеанских лососей, характеризуется длительным пресноводным периодом жизни, имеет сложную возрастную структуру, складывающуюся за счет разного сочетания пресноводных и морских лет жизни. В популяциях кижуча материкового побережья Охотского моря встречаются особи 9 возрастных групп: 0.1, 1.0, 1.1, 1.2, 2.0, 2.1, 2.2, 3.1 и 3.2 (Волобуев, Марченко, 2011). В 2001–2019 гг. возрастная структура североохотоморского кижуча была представлена рыбами семи возрастных групп. Как и в предыдущие годы, доми-

нантной была возрастная группа 2.1, второй по численности была возрастная группа 1.1 (табл. 9).

Основными возрастными группами у кижуча североохотоморского побережья, которые ежегодно встречаются в подходах и формируют около 99% возвратов, являются 1.1, 2.1 и 3.1. Рыбы, проведенные в море 2 года (1.2, 2.2), немногочисленны. Невелика их доля и в других водоемах. Например, в реках Восточной Чукотки они составляют около 5,5% подходов (Черешнев, Агапов, 1992), на Северных Курилах — 2,7% (Гриценко и др., 2012). Единично рыбы в возрасте 1.2 и 2.2 встречаются и на Камчатке (Зорбиди, 1970, 2010).

Небольшую часть в подходах североохотоморского кижуча составляет такая редкая возрастная группа как каюрки, т.е. рыбы, созревшие в год ската в море (1.0, 2.0). На долю таких рыб в подходах в среднем приходится от 0,14% и менее. Как первые исследователи (Грибанов, 1948), так и более современные авторы (Зорбиди, 2010) едины во мнении об обширном распространении такой формы кижуча в реках камчатского полуост-

Таблица 9. Встречаемость возрастных групп у североохотоморского кижуча в 2001–2019 гг., %

Возрастные группы						
1.0	1.1	1.2	2.0	2.1	2.2	3.1
0,1	20,9	0,1	единично	75,0	0,1	3,8

Примечание: Здесь и далее первая цифра означает число лет, проведенных в пресных водах, вторая — в море.

рова, но встречаемость рыб этих возрастных групп (1.0–3.0) в реках Камчатского края невелика — от 2% до десятых долей. На юго-западе Камчатки в оз. Б. Вилюй доля встречаемости каюрок изменялась в диапазоне значений от 10,8 до 21,9% (Мешкова и др., 2004). Столь высокая численность каюрок в этой популяции объясняется благоприятными условиями обитания молоди в озере. На одном из северных Курильских островов (о. Шумшу) в р. Беттобу найдено до 15,3% каюрок (Стыгар и др., 2000). На Сахалине каюрки встречаются исключительно редко (Гриценко, 2002).

Длина и масса тела

По размерно-массовым характеристикам производители кижуча соизмеримы с аналогичными параметрами кеты. За рассматриваемый временной интервал (2001–2019 гг.) в реки магаданского побережья заходили особи, размерные характеристики которых варьировали в широких пределах, как по длине (27,0–82,0 см), так и по массе (0,29–8,55 кг). Среднеголетние размерные характеристики изменялись в диапазоне значений от 61,0 до 68,2 см по длине и от 3,04 до 4,27 кг по массе. Согласно представленным данным (рис. 4 а, б) у производителей кижуча, как и кеты (рис. 3 а, б), отмечается очевидное снижение средних размерных значений, что, вероятно, является отражением ухудшения обстановки на местах нагула в Тихом океане. Аналогичную картину наблюдают и другие исследователи, так снижение размеров и массы тела камчатского кижуча отмечено Ж.Х. Зорбиди (2010) в первом десятилетии XXI в. Наиболее вероятной причиной этого автор также считает влияние плотностно-зависимых факторов на местах основного нагула в океане.

Все каюрки у североохотоморского кижуча за весь исследованный период времени были представлены исключительно самцами. Их масса колебалась от 290 до 850 г, длина — от 27 до 38 см. Встречались каюрки редко, обычно во второй половине — конце массового нерестового хода (сентябрь). Ана-

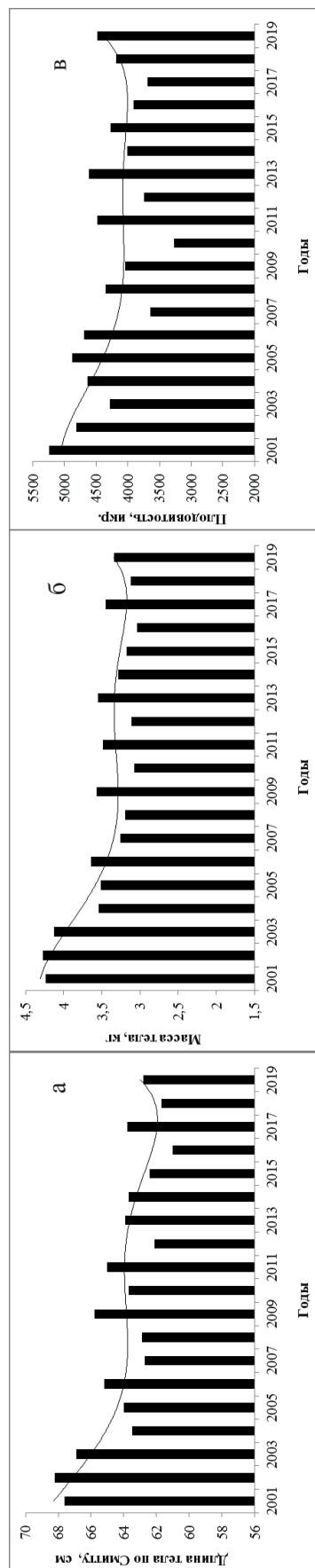


Рис. 4. Динамика длины (а), массы тела (б) и плодовитости (в) североохотоморского кижуча в начале XXI в.

дромную миграцию они совершали вместе с основной массой крупноразмерных производителей. На Камчатке каюрки достигают длины 33–41 см и массы тела 0,45–0,94 кг (Зорбиди, 2010). Размеры северокурильских каюрок колебались в пределах 33–50 см, в среднем 39 см, колебания массы тела составили 440–63 г (Стыгар и др., 2000).

По линейно-весовым показателям рыбы младших возрастов всегда мельче старшевозрастных рыб (табл. 10).

При рассмотрении среднегодовалых размерно-массовых характеристик основной части популяций кижуча (табл. 11), обитаю-

щих в рр. Яма и Тауй, нами были отмечены различия лишь в отношении большей средней массы рыб из р. Тауй (3,68 кг) и большего среднего значения абсолютной плодовитости самок из р. Яма (4631 икр.). В остальном особи из обоих водоемов были схожи.

Как и у других видов, в течение нерестового хода обычно наблюдается снижение размерно-массовых характеристик особей кижуча к концу миграции (табл. 12). Происходит это из-за увеличения доли самок и мелких самцов.

Кроме того, на побережье Магаданской области прослеживается клинальная

Таблица 10. Среднегодовалые размерные характеристики североохотоморского кижуча основных возрастных групп в 2001–2019 гг.

Показатель	Возраст, лет		
	1.1	2.1	3.1
Длина <i>SL</i> , см	64,4	65,6	66,4
Масса, кг	3,60	3,80	3,91
п, экз.	4303	13724	669

Таблица 11. Основные биологические показатели кижуча рек Яма и Тауй в 2001–2019 гг.

Река	Годы	Длина <i>SL</i> , см	Масса, кг	АП, икр.	Доля самок, %	Возрастной состав, %			п, экз.
						1.1	2.1	3.1	
Яма	2001–2014	$\frac{64,8}{27-82,0}$	$\frac{3,56}{0,54-8,55}$	$\frac{4631}{435-9417}$	$\frac{42,7}{32,0-52,3}$	$\frac{18,5}{2,5-52,1}$	$\frac{77,1}{46,4-95,4}$	$\frac{4,4}{0,6-11,7}$	3834
Тауй	2001–2019	$\frac{65,0}{32,0-79,0}$	$\frac{3,68}{0,54-7,42}$	$\frac{4295}{961-11571}$	$\frac{48,8}{38,0-62,7}$	$\frac{19,4}{3,0-29,7}$	$\frac{76,1}{67,2-95,5}$	$\frac{4,5}{0,7-16,7}$	6818

Таблица 12. Изменение средних размерно-массовых характеристик кижуча в течение нерестовой миграции

Номер пробы (дата)	2002 г.		2003 г.	
	р. Ола		р. Тауй	
	Длина <i>SL</i> , см	Масса, кг	Длина <i>SL</i> , см	Масса, кг
I (5–14.08)	68,2	4,35	70,1	4,74
II (18–25.08)	66,1	3,95	69,9	4,53
III (24–30.08)	67,2	4,27	69,8	4,59
IV (28–29.08)	65,8	3,69	68,1	4,25

Таблица 13. Изменение средних биологических характеристик североохотоморского кижуча в широтном направлении

Река	2001					2003				
	Длина SL, см	Масса, кг	АП, икр.	Доля самок, %	п, экз.	Длина SL, см	Масса, кг	АП, икр.	Доля самок, %	п, экз.
Гижига	67,2	3,51	4734	66,7	9	64,3	3,63	4547	53,8	13
Яма	68,5	4,22	5477	52,3	400	64,1	3,65	5139	36,6	331
Ола	66,2	3,70	5181	50,0	214	65,7	3,73	4681	53,2	284
Яна	68,1	4,35	5159	53,6	239	68,5	4,31	5142	53,9	180
Тауй	67,3	4,63	4810	50,5	285	69,5	4,54	3807	55,6	385

изменчивость в размерных характеристиках кижуча: длина и масса тела рыб возрастают в направлении с северо-востока на юго-запад (табл. 13). У североамериканского кижуча наблюдается увеличение длины тела с юга на север (Зорбиди, 1970). На азиатском побережье его линейные показатели увеличиваются в обратном направлении — с севера на юг (Грибанов, 1948; Гриценко, 1973; Черешнев и др., 2002; Sandercocock, 1991).

В результате можно отметить, что из дальневосточных популяций наиболее крупными размерами (70–75 см) выделяется кижуч р. Тымь северного Сахалина (Гриценко, 2002). Кижуч североохотоморского побережья по размерным характеристикам сходен с кижучем Западной Камчатки и Северных Курил (Гриценко и др., 2000; Зорбиди, 2010).

Соотношение полов

В большинстве обследованных популяций кижуча в 2001–2019 гг. в подходах преобладали самцы. Иногда доминирование самок наблюдалось в одной возрастной группе, самцов в другой. Вероятно, преобладание в выборках кижуча самцов связано со следующими обстоятельствами. Анадромная миграция кижуча в реки североохотоморского побережья продолжается с середины августа до конца ноября. Массовый ход обычно заканчивается во второй декаде сентября. По этой причине в период проведения работ

в научно-исследовательских и контрольных целях удается охватить сборами материала только начало или первую половину нерестового хода. А так как в начале нерестовой миграции преобладают именно самцы, то вероятность встречаемости большего их количества при отборе особей для биологического анализа сопряжена с продолжительностью нерестовой миграцией (табл. 11). Преобладание самцов (до 70–80%) отмечено и для популяций кижуча Камчатки (Зорбиди, 2010).

Плодовитость

Абсолютная плодовитость самок североохотоморского кижуча данного региона (2001–2019 гг.) варьировала в широких пределах — от 435 до 11571 икр. (табл. 11). Суммарный среднемноголетний показатель составил 4236 икр. при диапазоне значений от 3272 до 5244 икр. В целом, к концу первого двадцатилетия XXI в. индивидуальная плодовитость самок кижуча существенно снизилась: с 5072 икр. в начале 2000-х годов до 3687 к 2019 г. (рис. 4 в). Обусловлено это общим снижением его размерно-массовых показателей (рис. 4 а, б), т.к. корреляция плодовитости с массой тела довольно высока — $R^2 = 0,94$ (Марченко и др., 2013).

Популяции кижуча североохотоморского побережья, имеющие наибольшие запасы, обитают в рр. Яма и Тауй, рр. Ола и Яна имеют второстепенное значение по его запасам. Наименьшую среднюю плодовитость

Таблица 14. Абсолютная плодовитость североохотоморского кижуча разного возраста, икр.

Река	2001 г.				п, экз.	2003 г.				п, экз.
	Возраст, лет			Все воз- растные группы		Возраст, лет			Все воз- растные группы	
	1.1	2.1	3.1			1.1	2.1	3.1		
Гижига	5034	4750	3780	4734	9	5115	4434	-	4547	13
Яма	5554	5475	5438	5477	400	5486	5108	3832	5139	331
Ола	5403	5052	4065	5181	214	4761	4674	4429	4681	284
Яна	5174	5179	4700	5159	239	-	5174	4983	5142	180
Тауй	4946	4780	4334	4810	285	3861	3841	3094	3807	385

имел кижуч р. Тауй — 3807—4810 икр., особи из рр. Яна, Ола и Яма характеризовался более высокими показателями плодовитости. Также можно отметить, что самки, чей пресноводный период жизни не превышал более одного года, с высокой долей будут обладать повышенным репродуктивным потенциалом (табл. 14). Наибольшие показатели плодовитости имели рыбы, проведенные в пресных водах 1 год (табл. 14). В географической изменчивости этого показателя клина не прослеживалась (табл. 13, 14).

На Камчатке колебания плодовитости кижуча составляют 1100—13000 икринок (р. Камчатка) на восточном побережье и 1235—10835 икр. на западном побережье (Зорбиди, 2010), его средняя плодовитость по годам варьирует от 3671 до 5343, а среднегодовалые показатели по двум основным рекам составили 4534 (р. Камчатка) и 4492 (р. Большая) икринок (Зорбиди, 1970, 1975). Сходные средние величины плодовитости для Камчатки приводят и другие исследователи (Грибанов, 1948; Грачев, 1968). Размах плодовитости сахалинского кижуча составляет 1760—9010, в среднем 4320—5990 икринок (Гриценко, 1973, 2002). Северокурильский кижуч имеет колебания плодовитости 3045—6160, в среднем 4722 икринки (Стыгар и др., 2000). Колебания плодовитости чукотского кижуча составляют 2394—5728, в среднем 3430—4993 икринки (Черешнев, Агапов, 1992).

Наибольшей плодовитостью среди азиатского кижуча выделяется популяция р. Авьявьям (северо-восточная Камчатка) — его средняя плодовитость составляет 6992—7079 икринок (Грачев, 1968). В целом плодовитость охотоморского кижуча приближается к плодовитости позднего камчатского кижуча (Грибанов, 1948; Зорбиди, 1970, 2010) и сахалинского (Гриценко, 1973).

Нерка

Нерка является одним из видов тихоокеанских лососей, который характеризуется длительным пребыванием молоди в пресных водах после выхода личинок из нерестовых бугров — до 2—3, реже — до 4—5 лет. Кроме того, часть рыб развивается по карликовому типу и не покидает пресных водоемов в течение всей жизни. Максимальной численности и внутривидового разнообразия в Азии она достигает на Камчатке. Нерестовый ареал нерки по азиатскому побережью занимает территории восточной Чукотки, Камчатского полуострова, северо-восточной и центральной части материкового побережья Охотского моря, Командорских и Курильских островов. На охотоморском побережье Магаданской области как вид нерка обитает в ряде рек — Авекова, Гижига, Наяхан, Хобота, Яма, Ола, Ойра, Тауй (Правдин, 1940; Клоков, 1970; Никулин, 1970; Волобуев, Рогатных, 1984; Черешнев, 1996). Однако относительно высокой численности (несколько тысяч

рыб) достигает лишь в таких реках как Авекова, Гижига и Ола. В остальных упомянутых водоемах она встречается единично.

По местам размножения нерка в регионе представлена озерной лимнофильной и речной реофильной формами. В нерестовых лососевых водоемах Магаданской области нерка образует две экологические формы: жилую (карликовую) и проходную. Первая весь жизненный цикл проводит в пресных водах, нагуливаясь и созревая в озерах, вторая для нагула выходит в морские воды. Резидентная форма нерки на материковом побережье известна для всех относительно крупных популяций: рр. Ола, Иня, Охота (Волобуев и др., 2019). Например, в озерах Хэл-Дэги (басс. р. Иня) и Большое Уегинское (басс. р. Охота) численность проходной формы низкая, а основу стада составляет жилая форма. В то же время в озерах Мак-Мак и Киси, расположенных, соответственно, в бассейнах р. Ола и ее главного притока — р. Ланковая, численность карликов невелика, а основная часть стада представлена рыбами проходной формы. Карликовая жилая нерка составляет единую популяционную систему с проходной формой, активно участвует в совместном нересте на одних и тех же нерестищах. Нерка является популярным объектом любительского рыболовства и в небольших объемах (до 4–5 т) добывается промышленным ловом.

Возрастная структура

Возрастная структура проходной нерки бассейна р. Ола представлена 9 возрастными группами. Доминировали рыбы возрастных групп 1.3, 2.2, 2.3 (87,2%). Особи, прожившие в пресноводном водоеме не более двух лет и вернувшиеся на нерест в реку, также составляют значительную долю — 70% (табл. 15).

Как и в других малочисленных популяциях нерки материкового побережья Охотского моря (оз. Б. Уегинское, оз. Хэл-Дэги) (Волобуев и др., 2019) в оз. Киси, наравне с молодью, в уловах встречена зрелая карликовая резидентная нерка. Вся жилая нерка (12 экз.) была представлена исключительно самцами. Их доля в общей выборке составила 8,0%. В озерах Б. Уегинское и Хэл-Дэги встречены и самки: их доля составила 5,8% и 14,3% соответственно. Половые продукты карликовых самцов к концу августа были представлены особями на III–V стадиях. Возрастной состав жилой нерки оз. Киси был представлен 3 группами: от 2+ до 4+ лет. Основу уловов составляли рыбы в возрасте 3+. Средний гонадо-соматический индекс (ГСИ) был равен 9,42, при диапазоне изменчивости параметра от 5,0 до 12,5 (табл. 16).

Встречаемость, как жилых карликовых самцов, так и молодежи нерки в оз. Киси, была идентична. Возрастной состав молодежи был представлен 3 группами: 0+, 2+ и 3+. Особи в возрасте 1+ в уловах отсутствовали. Половина всех пойманных рыб была представлена неркой трехлетнего возраста (2+) (табл. 17). Крайне невысокая численность молодежи, по нашему мнению, свидетельствует об исключительно низком уровне воспроизводства нерки поколений 2007–2009 гг. в данном водоеме.

Длина и масса тела

Проходная нерка, заходящая в реки Магаданской области, характеризуется сравнительно небольшими размерно-массовыми характеристиками. В данной работе представлены данные по исследованию нерки двух популяций: реофильная форма из р. Гижига

Таблица 15. Встречаемость возрастных групп у нерки р. Ола в 2001–2019 гг., %

Возрастные группы, лет								
1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.2	3.3
3,8	18,2	0,3	0,9	18,2	50,8	0,9	3,8	3,1

Таблица 16. Биологические характеристики жилой формы нерки оз. Киси в 2010 г.

Возраст, лет	Длина, <i>SL</i> , см	Масса, г	ГСИ, %	п, экз.
2+	$\frac{15,9 \pm 0,7}{14,0-17,5}$	$\frac{0,05 \pm 0,01}{40-60}$	$\frac{11,11 \pm 1,39}{8,33-12,50}$	4
3+	$\frac{24,4 \pm 1,6}{21,1-31,8}$	$\frac{0,17 \pm 0,04}{100-340}$	$\frac{7,73 \pm 1,36}{5,00-9,09}$	6
4+	$\frac{30,0 \pm 1,3}{28,7-31,2}$	$\frac{0,27 \pm 0,03}{240-300}$	—	2

Таблица 17. Биологические характеристики молоди нерки оз. Киси в 2010 г.

Возраст, лет	Длина, <i>SL</i> , см	Масса, г	п, экз.
0+	$\frac{4,6 \pm 0,5}{3,9-6,1}$	$\frac{1,09 \pm 0,42}{0,58-2,35}$	4
2+	$\frac{17,6 \pm 0,2}{16,8-18,4}$	$\frac{52,50 \pm 3,35}{45,00-65,00}$	6
3+	23,9	140,00	2

(размножается в ключевых протоках) и лимнофильная форма из р. Ола (размножается в озерах Киси, Мак-Мак). Средние значения длины тела гижигинской нерки варьировали в пределах 55,5–69,5 см при среднемноголетних показателях 61,5–62,1 см. Значения средней массы производителей нерки данного пресноводного комплекса составили 1,74–3,48 кг при среднемноголетних – 2,56 и 2,72 кг. Длина нерки ольской популяции варьировала в широких пределах от 37,0 до 70,3 см, и в среднем за весь период наблюдений (2001–2019 гг.) составила 53,7–62,8 см. Значения массы производителей данной популяции варьировали от 0,52 до 4,21 кг и за весь период наблюдений составили 1,71–2,59 кг (табл. 18). В размерном отношении самцы были несколько крупнее самок. При рассмотрении среднегодовых размерно-массовых характеристик производителей нерки (1995–2019 гг.) можно отметить снижение длины тела с 64 до 58 см (рис. 5 а) и массы с 2,8 до 2,5 кг (рис. 5 б). То есть, для всех рассмотренных видов лососей наблюдается одна и та же тенденция:

снижение размерно-весовых показателей в начале XXI в.

По своим размерно-весовым показателям размерным характеристикам охотоморская нерка сходна с неркой раннего хода р. Камчатка и Командорских островов (Бугаев, 2011).

Длина карликовых особей нерки из оз. Киси варьировала от 14,0 до 31,8 см (средняя – 22,5 см), масса тела – от 40 до 340 г (средняя – 150 г) (табл. 16). Размерные характеристики у молоди нерки варьировали в широких пределах: по длине тела от 3,9 до 23,9 см, по массе – от 0,58 до 140 г (табл. 17).

Соотношение полов

В выборках проходной нерки в обеих исследованных популяциях доминировали самки (табл. 18), что, вероятно, обусловлено наличием в нерестовых пулах карликовых самцов, которые восполняют производителей и являются своеобразным резервным фондом, компенсирующим дефицит проходных самцов и обеспечивающим нормальный уровень воспроизводства. Преобладание самок

Таблица 18. Некоторые биологические показатели проходной нерки Магаданской области

Год	Длина SL , см	Масса, кг	АП, икр.	Доля самок, %	п, экз.
р. Гижига					
2001	$\frac{61,5 \pm 1,0}{55,5-67,5}$	$\frac{2,72 \pm 0,15}{1,74-3,48}$	$\frac{4889 \pm 507}{1827-7656}$	76,9	13
2002	$\frac{62,1 \pm 1,2}{57,2-69,5}$	$\frac{2,56 \pm 0,1}{2,09-3,14}$	$\frac{5001 \pm 778}{2421-8192}$	100	10
р. Ола					
2001	$\frac{62,1 \pm 0,7}{56,5-68,7}$	$\frac{2,54 \pm 0,10}{1,75-3,50}$	—	57,1	21
2002	$\frac{60,9 \pm 0,4}{52,0-69,0}$	$\frac{2,50 \pm 0,05}{1,00-3,60}$	$\frac{3389 \pm 140}{1912-6144}$	65,5	87
2009	$\frac{62,8 \pm 1,0}{56,5-69,0}$	$\frac{2,59 \pm 0,11}{1,97-3,24}$	$\frac{4069 \pm 281}{2902-4680}$	42,9	14
2010	$\frac{53,7 \pm 0,5}{37,0-70,3}$	$\frac{1,71 \pm 0,06}{0,52-4,21}$	$\frac{3857 \pm 284}{1906-5880}$	42,9	124
2012	$\frac{57,8 \pm 0,7}{48,0-67,5}$	$\frac{2,23 \pm 0,09}{1,17-3,28}$	$\frac{1236 \pm 96}{516-2096}$	51,7	58
2013	$\frac{57,2 \pm 0,6}{43,0-69,0}$	$\frac{2,41 \pm 0,07}{1,65-4,10}$	$\frac{3428 \pm 197}{1113-7483}$	82,9	41
2018	$\frac{58,7 \pm 0,3}{50,5-69,5}$	$\frac{2,42 \pm 0,03}{1,54-3,22}$	$\frac{1912 \pm 37}{830-2618}$	58,3	163
2019	$\frac{58,1 \pm 0,2}{48,5-66,0}$	$\frac{2,39 \pm 0,03}{1,30-3,51}$	$\frac{2178 \pm 31}{1351-3246}$	62,6	195

(до 60–70%) также отмечено в популяциях нерки р. Камчатка позднего хода (Бугаев, 2011) и в ряде популяций Чукотки (Голубь, 2007).

Плодовитость

Абсолютная плодовитость проходной нерки в гижигинской популяции изменялась в диапазоне от 1827 до 8192 икр. и среднегодовые значения (за 2001–2002 гг.) этого параметра составляли 4889–5001 икр. В ольской популяции нерки показатели плодовитости варьировали в интервале от 516 до 7483 икр., и среднегодовые значения составляли 1236–4069 икр. (табл. 18). В целом показатель плодовитости североохотоморской нерки снизился к началу XXI в. с 4000 до 2500 икр. на одну самку (рис. 5 в). Плодо-

витость североохотоморской нерки по своей текущей количественной оценке сходна с аналогичными показателями некоторых популяций Камчатки, Чукотки и Командорских островов (Бугаев, 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горбуша по своим размерно-массовым характеристикам и плодовитости относится к наиболее мелким представителям вида среди популяций Дальнего Востока со средними межгодовыми значениями, варьирующими в диапазоне 44–50 см и 1,06–1,50 кг. В отдельные годы по этим параметрам отмечена клинальная изменчивость в широтном направлении. Общая же тенденция по размерным характеристикам особей горбуши проявляется в увеличении

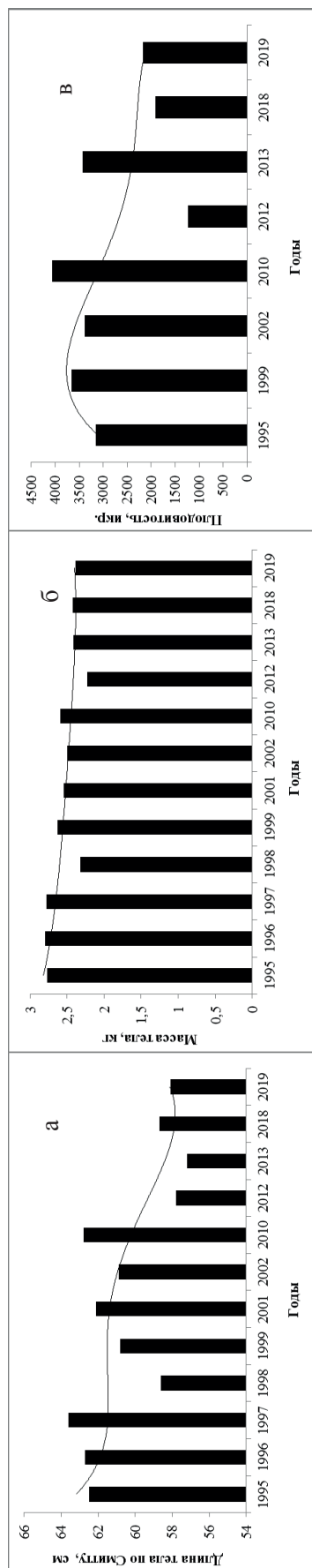


Рис. 5. Динамика длины (а), массы тела (б) и плодовитости (в) североохохоморской нерки в начале XXI в

этих показателей с северо-востока на юго-запад. Горбуша многочисленных нечетных лет крупнее производителей четной линии воспроизводства. Также, согласно многолетнему мониторингу (2001–2019 гг.) североохохоморской горбуши, складывается впечатление не настолько существенного снижения значений по размерным характеристикам, чем это прослеживается у других видов тихоокеанских лососей данного региона. На побережье Магаданской области наиболее мелкая горбуша воспроизводится в реках Гижигинской губы. Отмечено снижение основных биологических характеристик горбуши в течение последних 19 лет.

В реках североохохоморского побережья в границах Магаданской области, как и во многих других регионах Дальнего Востока, воспроизводится кета двух сезонных форм (рас) — ранней и поздней, которые могут обитать как симпатрично в бассейне одной реки, так и в разных реках. За период мониторинга популяций кеты (2001–2019 гг.) в текущем столетии отмечено увеличение среднего возраста кеты в сравнении с прошлым веком (1990-годы). Это замедляет процесс обновления нерестовых стад и негативно сказывается на темпах нарастания биомассы и образования продукции. Возможно, это является следствием перенасыщенности эпипелагиали Северной Пацифики нагуливающимися тихоокеанскими лососями, значительная часть которых является продукцией широкомасштабного искусственного воспроизводства. Очевидно, с этим и связано снижение качественных показателей кеты к концу первого двадцатилетия XXI в. Помимо увеличения среднего возраста особей отмечена мозаичность в изменчивости качественных показателей кеты, отсутствие выраженной клины, что, возможно, является результатом анализа частично смешанных выборок двух сезонных форм. Экологическая и биологическая неоднородность кеты по участку ареала обусловлена исторически сложившимися биогенетическим внутривидовым разнообразием, спектром условий воспроизводства, стартовых условий в пост-

эмбриогенезе, различиями гидрологического и гидробиологического фона прибрежья, продолжительностью и условиями нагула в океане и другими факторами.

Кижуч североохотоморского побережья (в пределах Магаданской области) представлен одной экологической формой позднего хода. В его популяциях доминируют особи с двумя пресноводными годами (до 75%). Рыбы, прожившие в реке более продолжительный период жизни, в среднем крупнее, чем особи с одним пресноводным годом и вернувшиеся обратно на нерест. Наряду с кетой отмечена клинальная изменчивость размерно-массовых характеристик особей кижуча в широтном направлении (с северо-востока на юго-запад). Снижение размерных характеристик данного вида, вероятно, связано с плотностно-зависимыми факторами на местах нагула в океане.

Нерка представлена лимнофильной и реофильной формами. Реофильная нерка обитает в бассейнах рр. Гижига и Авекова, лимнофильная — в бассейне р. Ола. Возрастная структура представлена рыбами девяти возрастных групп, преобладает категория рыб с двумя пресноводными и тремя морскими годами жизни. В популяциях отмечена жилая карликовая форма нерки, представленная в основном самцами, которые образуют единую популяционную систему с проходной формой.

В целом, следует отметить общее для всех рассмотренных видов лососей снижение размерно-массовых характеристик и показателя абсолютной плодовитости за рассматриваемый период (2001–2019 гг.). Синхронное изменение этих показателей может косвенно свидетельствовать об ухудшении трофических условий в экосистеме северо-западной Пацифики, где происходит основной нагул тихоокеанских лососей азиатских стад. Приведенный анализ параметров основных биологических характеристик горбуши, кеты, кижуча и нерки показал, что они не выходят за характерные для данных видов пределы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антонов Н. П. Промысловые рыбы Камчатского края: монография. М.: ВНИРО, 2011. 244 с.

Бугаев В. Ф. Азиатская нерка-2: монография. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатпресс, 2011. 380 с.

Волобуев В. В. О внутривидовой дифференциации кеты р. Тауй (Североохотоморское побережье) // Тез. докл. 10 Всес. симп. «Биологические проблемы Севера». Магадан. 1983. Ч. 2. С.155–156.

Волобуев В. В., Бачевская Л. Т., Волобуев М. В., Марченко С. Л. Популяционная структура кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) континентального побережья Охотского моря // Вопр. ихтиологии. 2005. Т. 45. № 4. С. 489–501.

Волобуев В. В., Голованов И. С. Запасы тихоокеанских лососей Магаданской области // Сб. научных трудов МагаданНИРО. Магадан: МагаданНИРО, 2001. Вып. 1. С.123–133.

Волобуев В. В., Горехов М. Н., Голованов И. С. и др. Нерка *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) северо-восточной части материкового побережья Охотского моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2019. Вып. 48. С. 49–58.

Волобуев В. В., Голованов И. С., Марченко С. Л. Оценка многолетних изменений основных характеристик биологической структуры горбуши континентального побережья Охотского моря // Тез. докл. конфер. «Биологическое разнообразие животных Сибири». Томск: Изд-во Томского университета, 1998. С. 187–188.

Волобуев В. В., Марченко С. Л. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел): монография. Магадан: Изд-во СВНЦ ДВО РАН, 2011. 303 с.

Волобуев В. В., Овчинников В. В., Волобуев М. В. Особенности воспроизвод-

- ства тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* материкового побережья Охотского моря // Вопр. рыболовства. 2016. Т. 17 № 2. С. 1–21.
- Волобуев В. В., Овчинников В. В., Голованов И. С. и др. Некоторые элементы биомониторинга тихоокеанских лососей континентального побережья Охотского моря // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центр, 2017. Бюлл. № 12. С. 55–63.
- Волобуев В. В., Рогатных А. Ю. О структуре ихтиоценозов в лососевых экосистемах материкового побережья Охотского моря. Свердловск // Тез. докл. IV Всес. совещания «Вид и его продуктивность в ареале». 1984. Свердловск. С. 10–11.
- Волобуев В. В., Рогатных А. Ю., Кузищин К. В. О внутривидовых формах кеты *Oncorhynchus keta* материкового побережья Охотского моря // Вопр. ихтиологии. 1990. Т. 30. Вып. 2. С. 221–228.
- Голубь Е. В. Нерка (*Oncorhynchus nerka*) Чукотки: биология, распространение, численность // Изучение тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центр, 2007. Бюлл. № 2. С. 139–146.
- Горохов М. Н., Голованов И. С., Коршукова А. М., Волобуев В. В. Биологическая характеристика, состояние запасов и промысел горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в начале XXI века. Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2019. Вып. 53. С. 57–66.
- Грачев Л. Е. Некоторые данные о плодовитости тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. 1968. Т. 64. С. 43–51.
- Грибанов В. И. Кижуч (*Oncorhynchus kisutch* (Walb.)) (биологический очерк) // Там же. 1948. Т. 28. С. 43–101.
- Гриценко О. Ф. Биология симы и кижуча Северного Сахалина: монография. М.: ВНИРО, 1973. 40 с.
- Гриценко О. Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел): монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2002. 248 с.
- Гриценко О. Ф., Богданов М. А., Прилуцкая Н. В., Пичугин М. Ю. и др. Рыбы Курильских островов: монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. 384 с.
- Гриценко О. Ф., Богданов М. А., Стыгар В. М., Ковнат Л. С. Водные биологические ресурсы северных Курильских островов: монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 163 с.
- Гриценко О. Ф., Заварина Л. О., Ковтун А. А., Путивкин С. В. Экологические последствия крупномасштабного искусственного разведения кеты // М.: ВИНТИ. Мировой океан. 2001. Вып. 2. С. 168–174.
- Гриценко О. Ф., Ковтун А. А., Косткин В. К. Экология и воспроизводство кеты и горбуши: монография. М.: Агропромиздат, 1987. 165 с.
- Енютин Р. И. Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Изв. ТИНРО. 1972. Т. 96. С. 167–174.
- Ефанов В. Н., Кочнева Э. П. О вторичной поимке половозрелого самца горбуши в возрасте менее года // Биология моря. 1980. № 2. С. 88–89.
- Зорбиди Ж. Х. О динамике стада кижуча // Изв. ТИНРО. 1970. Т. 78. С. 61–72.
- Зорбиди Ж. Х. Биологические показатели и численность камчатского кижуча // Тр. ВНИРО. 1975. Т. 106. С. 34–42.
- Зорбиди Ж. Х. Кижуч азиатских стад: монография. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2010. 306 с.
- Иванков В. Н., Митрофанов Ю. А., Бушуев В. П. Случай созревания горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в возрасте менее одного года // Вопр. ихтиологии. 1975. Т. 15. Вып. 3. С. 556–557.
- Иванов О. А. Случай поимки двухгодовалых горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в море зимой 1994–1995 гг. // Там же. 1996. Т. 36. С. 716–720.
- Иванова И. М. Видовой состав, биологическая структура и динамика уловов лососей рода *Oncorhynchus* в прибрежье юго-

западного Сахалина // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях. Южно-Сахалинск: Изд-во СахНИРО, 2003. Тр. СахНИРО. Т. 5. С. 64–84.

Изергина Е.Е., Изергин Л.И., Изергин И.Л. Влияние абиотических факторов на биологию и морфологическую картину крови молоди кеты и горбуши в ранний морской период на модельном полигоне в Тауйской губе // Матер. докл. отчетной сессии ФГУП «МагаданНИРО» по результатам научных исследований 2012 года. Магадан: МагаданНИРО, 2013. С. 66–70.

Кагановский А.Г. Некоторые вопросы биологии и динамики численности горбуши // Изв. ТИНРО. 1949. Т. 31. С. 3–57.

Каев А.М. О поимке горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* редкого возраста // Биология моря. 2002. № 6. С. 457–458.

Каев А.М. Особенности воспроизводства кеты в связи с ее размерно-возрастной структурой: монография. Южно-Сахалинск: Изд-во СахНИРО, 2003. 287 с.

Кловач Н.В. Экологические последствия крупномасштабного разведения кеты: монография. М.: ВНИРО, 2003. 164 с.

Клоков В.К. К вопросу о динамике численности нерестовых стад лососей на Северном побережье Охотского моря // Изв. ТИНРО. 1970. Т. 71. С. 169–177.

Костарев В.А. Естественное воспроизводство и использование запасов дальневосточной кеты // Тез. докл. 10 Всес. симп. «Биологические проблемы Севера». 1983. Ч. 2. С. 186–187.

Лапин Ю.Е. Закономерности динамики популяций рыб в связи с длительностью их жизненного цикла: монография. М.: Наука, 1971. 175 с.

Марченко С.Л. Внутрипопуляционные группировки горбуши р. Ола // Тез. докл. конф. молодых ученых. Биомониторинг и рациональное использование морских и пресноводных гидробионтов. Владивосток. 1999. С. 24–26.

Марченко С.Л. О неоднородности горбуши р. Гижига // Состояние и перспективы рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря. Сб. науч. тр. МагаданНИРО: Магадан, 2001. Вып. 1. С.152–158.

Марченко С.Л., Волобуев В.В., Макаров Д.В. Биологическая структура кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2013. Вып. 29. Ч. 1. С. 70–83.

Медников Б.М., Волобуев В.В., Горшков В.А. и др. Структура нерестовой популяции кеты *Oncorhynchus keta* бассейна реки Тауй (по данным молекулярной гибридизации ДНК) // Вопр. ихтиологии. 1988. Т. 28. Вып. 5. С. 724–731.

Мешкова М.Г., Смирнов Б.П., Введенская Т.Л., Зорбиди Ж.Х. Особенности биологии кижуча *Oncorhynchus kisutch* Walbaum (Salmonidae) озера Большой Вилуй // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2004. Вып. 7. С. 171–180.

Мидьяная В.В. Характеристика нерестового хода и качественных показателей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum (Salmonidae) Восточной Камчатки // Там же. 2004. Вып. 7. С. 160–170.

Никифорова Г.В. О нахождении половозрелых сеголеток горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в водоемах юго-восточного Сахалина // Вопр. ихтиологии. 1996. Т. 36. № 6. С. 840–841.

Николаева Е.Т. О плодовитости камчатской кеты // Изв. ТИНРО. 1974. Т. 90. С.145–172.

Никулин О.А. О связи между снижением абсолютной численности красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) и увеличением относительной численности карликов среди нагуливающейся молоди в оз. Уегинском

(Охотский район) // Изв. ТИНРО. 1970. Т. 71. С. 205–215.

Платошина Л. К. Биологические показатели летней кеты из разных рек бассейна Амура // Биология проходных рыб Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1984. С. 57–64.

Правдин И. Ф. Обзор исследований дальневосточных лососей // Изв. ТИНРО. 1940. Т. 18. 107 с.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-ть, 1966. 376 с.

Смирнов А. И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей: монография. М.: Изд-во МГУ, 1975. 334 с.

Стыгар В. М., Ковнат Л. С., Ведищева Е. Н. К биологии кижуча *Oncorhynchus kisutch* северных Курильских островов. В кн.: Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских островов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей. М.: ВНИРО, 2000. С. 161–172.

Точилина Т. Г., Смирнов Б. П. Половозрелые сеголетки горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в прибрежных водах о. Итуруп (южные Курильские острова) // Тр. ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 136–142.

Уловы тихоокеанских лососей за 1900–1986 гг. 1989. М.: ВНИРО, 219 с.

Черешнев И. А. Биологическое разнообразие пресноводной ихтиофауны Северо-Востока России: монография. Владивосток: Дальнаука, 1996. 197 с.

Черешнев И. А. Пресноводные рыбы Чукотки: монография. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2008. 324 с.

Черешнев И. А., Агапов А. С. Новые данные по биологии малоизученных популяций и видов тихоокеанских лососей Северо-Востока Азии // Популяционная биология лососей Северо-Востока Азии. Владивосток: ДВО АН СССР, 1992. С. 5–41.

Черешнев И. А., Волобуев В. В., Шестаков А. В., Фролов С. В. Лососевидные рыбы Северо-Востока России: монография. Владивосток: Дальнаука, 2002. 496 с.

Anas R. E. Three-year-old pink salmon // J. Fish. Res. Board Can. 1959. V. 16. N 1. P. 91–94.

Bigler B. C., Welch D. W., Helle J. H. A review of size trends among North Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1996. V. 53. P. 455–465.

Heard W. R. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). Pacific Salmon Life Histories. Vancouver: UBC Press, 1991. P. 119–230.

Heard W. R. Do Hatchery Salmon Affect the North Pacific Ocean Ecosystem? // Bull. NPAFC. № 1. 1998. P. 405–411.

Helle J. H., Hoffman M. S. Size decline and older age at maturity of two chum salmon (*Oncorhynchus keta*) stocks in western America, 1972–1992. Climate change and northern fish populations // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1995. V. 121. p. 245–260.

Helle J. H., Hoffman M. S. Changes in size and age at maturity of two North American stocks of regime shift in the North Pacific Ocean. Assessment and status Pacific Rim salmonid stocks // NPAFC. Bull. N 1. 1998. p. 81–89.

Ishida Y., Kaeriyama M., McKinnel S., Nagasava K. Recent Changes in Age and Size of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and Possible Causes // Can. J. Fish. And Aquatic Science. 1993. V. 50. N 2. P. 290–295.

Kaeriyama M. Changes in Body Size and Age at Mature of a Chum Salmon *Oncorhynchus keta*, population released from Hokkaido in Japan // NPAFC. 1996. Doc. 208. 9 p.

Kwain W., Chappel J. A. First evidence for even-year spawning pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, in Lake Superior // J. Fish. Res. Board Can. 1978. V. 35. P. 1373–1376.

Ricker W. E. Trends in the average size of Pacific salmon in Canadian catches // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1995. V. 121. P. 593–602.

Sanderson F. K. Life History of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Pacific Salmon Life Histories. Vancouver: UBC Press, 1991. P. 397–445.

**BASIC ELEMENTS OF THE BIOLOGICAL STRUCTURE OF PACIFIC SALMON
OF THE GENUS *ONCORHYNCHUS* (SALMONIFORMES, SALMONIDAE)
OF MAGADAN REGION IN THE EARLY OF XXI CENTURY**

© 2020 г. М. Н. Горохов¹, В. В. Волобуев¹, А. В. Ямборко¹, А. А. Смирнов^{2,3}

¹ *Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography Magadan, 685000*

² *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140*

³ *North-Eastern State University, Magadan, 685000*

Information on age, size-weight structure, fecundity and sex ratio of four species of Pacific Salmon reproduced in Magadan region is presented. Changes in the structure of biological indicators for the first two decades (2001–2019) of the 21st century in the main populations of pink salmon, chum salmon, coho salmon and sockeye salmon are shown. The presence of wedge variability of dimensional-weight characteristics in pink salmon and coho salmon in latitude direction has been established. The pink salmon of an odd row of generations is characterized by a larger size-weight indicators. There has been an increase in average age in chum salmon populations compared to the early 2000s. A perennial prevalence of individuals with two freshwater years of life has been established in coho salmon populations. During anadromous migration, the size-weight indices of coho salmon decrease. Sockeye salmon is represented by limnophilic and rheophilic forms. Resident dwarf males and females are noted in limnophilic nerka populations.

Keywords: pink salmon, chum salmon, coho salmon, sockeye salmon, size, body weight, age structure, sex ratio, fecundity.

ИСТОРИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

УДК 574.3

**НЕЛЬМА *STENODUS LEUCICHTHYS NELMA* (PALLAS, 1773)
(SALMONIFORMES, COREGONIDAE) РЕКИ ЕНИСЕЙ: СТРУКТУРА
ПОПУЛЯЦИИ, ПРОМЫСЕЛ, ВОСПРОИЗВОДСТВО**

© 2020 г. В.А. Заделёнов^{1,2}, Е.В. Дербинева¹

¹Красноярский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (НИИЭРВ), г. Красноярск, 660097

²Красноярский государственный аграрный университет (КрасГАУ), г. Красноярск, 660097
E-mail: nii_erv@mail.ru

Поступила в редакцию 23.03.2020

Приведены история изучения нельмы бассейна р. Енисей за более чем столетний период, сведения о структуре стада, возрасту и росту, половому созреванию и плодовитости, питанию, промыслу, попыткам искусственного воспроизводства. Отмечено, что масштабные воздействия антропогенного характера существенно изменили местообитание этого вида, численность и запасы рыбы заметно сократились к началу XXI столетия. Приведена хронология мероприятий по сохранению популяций нельмы р. Енисей. Изложены результаты рыбоводного освоения нельмы в бассейне Енисея, в том числе возможные объемы выпуска молоди.

Ключевые слова: нельма *Stenodus leucichthys nelma*, р. Енисей, история исследований, популяция, структура, воспроизводство, промысел.

История изучения. Нельма *Stenodus leucichthys nelma* — самый крупный представитель семейства сиговых рыб, ценный объект промысла, в р. Енисей не раз привлекала внимание российских исследователей (Пресноводные рыбы..., 2016).

Академик Паллас в 1768–1773 гг. при изучении растительного и животного мира юга и средней части нынешнего Красноярского края впервые привел описание 11 видов лососевидных рыб, в том числе и нельмы (Паллас, 1773, 1786, 1788).

В середине XIX — начале XX вв. начались специальные исследования по изучению природы, населения, растений и животных бассейна Енисея, связанные с образованием Енисейской губернии (1822 г.) и ростом сельского хозяйства, промышленности и экономики региона.

В ранних работах нельма описывается как *Stenodus nelma* (Миддендорф, 1860; Кривошапкин, 1865; Третьяков, 1869; Кытманов, 1898; Берг, 1948).

В 1908 г. в Красноярске открывалась Енисейская ихтиологическая лаборатория, первым руководителем которой становится Владимир Лаврентьевич Исаченко. С ее образованием в бассейне Енисея начались планомерные и систематические исследования ихтиофауны реки и его крупных притоков (Очерки..., 1999).

С 1908–1910 гг. в низовьях Енисея работала экспедиция, возглавляемая В.Л. Исаченко. Предметом изучения, в первую очередь, стали рыбы Енисея и Енисейского залива, их питание. Как итог полевых исследований, выходит первая сводка, содержащая перечень видов и основные сведения о биологии и распространении рыб нижнего течения Енисея. Автор работы относил нельму к семейству Salmonidae, как и некоторые другие виды рода *Coregonus*, и приводил общепринятое в то время название *Stenodus nelma* (Исаченко, 1912). На тот период это первая полная публикация о рыбах Енисея, в том числе и нельме. К этому же времени

относятся материалы по изучению питания рыб Енисея и Енисейского залива (Лавров, Исаченко, 1911). В 1916 г. М. Д. Рузский (Томский университет) описывает нельму верхнего течения Енисея (Рузский, 1916). Л. С. Берг (1916) в работе «Рыбы пресных вод Российской империи» на основании особенностей биологии и морфологии нельмы в сибирских реках признает ее подвидом *Stenodus leucichthys nelma*. Вслед за Л. С. Бергом название *S. leucichthys nelma* используется в последующих публикациях, посвященных изучению биологии, морфологии и промысла этого вида на Енисее (Березовский, 1924; Дмитриев, 1941; Вовк, 1948; Подлесный, 1945; 1958; Головкин, 1971 и др.). В дальнейшем, практически во всех работах отечественных исследователей при описании нельмы приводилась ссылка на «Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран» (Берг, 1948). Во второй половине прошлого столетия российские систематики включают нельму в семейство сиговых самостоятельным родом *Stenodus* (Решетников, 1980, 1988; Аннотированный каталог..., 1998; Атлас пресноводных рыб..., 2002; Богущкая, Насека, 2004; Рыбы в заповедниках России..., 2010; Вышегородцев, 2000; Вышегородцев, Заделёнов, 2013; Сидоров, Решетников, 2014; Пресноводные рыбы..., 2016 и др.).

Структура стада. Ф. И. Вовк (1948) и А. В. Подлесный (1958) полагали, что в р. Енисей нельма представлена двумя экологическими формами — жилой и полупроходной, слабо различающимися в морфологическом отношении. Жилая нельма постоянно обитает на речных участках, известна в ряде крупных притоков Енисея — рр. Подкаменная и Нижняя Тунгуска, Курейка, Хантайка и других. В рр. Яра и Танама, пойменных озерах левобережной дельты Енисея встречается молодь нельмы, взрослая нельма в них не обитает. Жилая форма отличается от полупроходной быстрым ростом и более ранним созреванием.

Полупроходная нельма нагуливается в низовьях Енисея (дельте, губе и прибрежной части залива), нерестовые мигра-

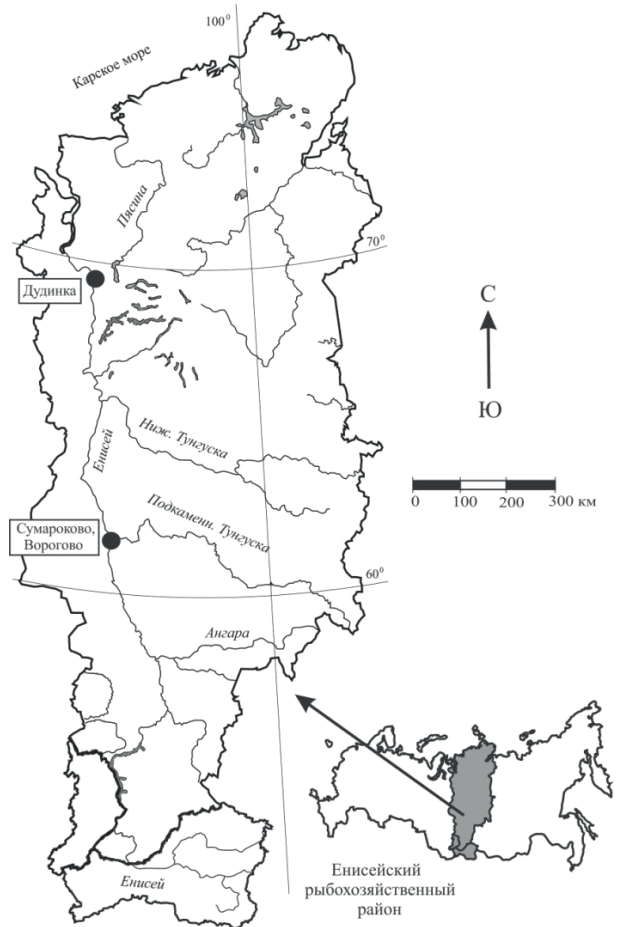


Рис 1. Ареал нельмы в р. Енисей

ции совершает вверх по реке на расстояние до 1,5 тыс. км и более от мест нагула. Сроки и места нереста жилой и полупроходной форм совпадают, основные нерестилища расположены на участке Ворогово — Сумароково (рис. 1). По численности полупроходная форма значительно превосходит жилую, жизненный цикл которой, очевидно, менее продолжителен. Нерестовая миграция полупроходной нельмы из низовьев Енисея начинается после распаления льда, максимум хода в районе г. Дудинка наблюдается во второй — третьей декадах июля, нерестилищ (д. Сумароково) производители достигают спустя 2,0–2,5 месяца — в сентябре — начале октября (Вовк, 1948; Подлесный, 1958).

В публикациях имеется информация по исследованию ихтиофауны Енисея, которая позволяет предположить наличие более сложной структуры стада нельмы этого бас-

сейна (Гайденок и др., 2008 а, 2011; Гайденок, 2017; Isaeva et al, 2008; Исаева и др., 2009, 2012 а, б, 2015, 2017). Нельма, обитающая в р. Енисей, представлена несколькими (по крайней мере, тремя) популяциями, которые отличаются друг от друга как по морфологическим, так и по генетическим признакам (Исаева и др., 2012 б).

Возраст и рост нельмы в бассейне Енисея. Размерно-возрастные характеристики нельмы в Енисее неоднократно освещались в печати. Первой сводкой на эту тему стала работа В. Л. Исаченко «Рыбы Туруханского края, встречающиеся в р. Енисей и Енисейском заливе» (1912). В последующем, эти показатели изложены в ряде работ (Вовк, 1948; Подлесный, 1958; Куклин, Лопатин, 1983; Заделёнов, 1999, 2015 а; Разнообразие рыб Таймыра..., 1999; Белов, Заделёнов, 2010 а, б; Белов, Заделёнов, 2013; Пресноводные рыбы Средней Сибири, 2016 и др.).

В публикациях отмечается, что нельма на Енисее достигает возраста 25–26 лет (Подлесный, 1958). Куклин и Лопатин по материалам 1978–1980 гг. определяют возраст самых старших экземпляров в 28+, Заделёнов по материалам 1992–1996 гг. — 28+ лет (Куклин, Лопатин, 1983; Заделёнов, 1999). По Ф. И. Вовку и Ю. С. Решетникову (Вовк, 1948; Решетников, 1980; Атлас пресноводных рыб..., 2002; Рыбы в заповедниках России..., 2010) длительность жизненного цикла в Енисее у нельмы 22 года.

Вовк описывает самую крупную нельму длиной 115 см по Смитту и массой 15,6 кг, Подлесный — 20 кг массой, Заделёнов — 106,5 см длиной (промысловой) и массой 15 кг (Вовк, 1948; Подлесный, 1958; Заделёнов, 1999).

Практически все енисейские ихтиологи писали о большом размахе колебаний размеров у одновозрастных рыб из разных участков реки (Вовк, 1948; Подлесный, 1958; Заделёнов, 1999, 2015 а и др.).

При анализе размерно-возрастного состава нельмы из разных участков р. Енисея выяснилось, что рыбы в возрасте

3+...12+ лет имеют различную длину и массу, при этом размеры рыб из района п. Сумароково выше таковых из дельты Енисея (Исаева и др. 2017).

Половое созревание, плодовитость.

Во всех известных публикациях, касающихся демографических характеристик нельмы в р. Енисее, указывается на довольно позднее половое созревание этого вида. Самцы жилой формы впервые становятся половозрелыми в возрасте 5–6 лет при достижении длины 0,51 м и массы 2,0 кг, самки — в 8–9 лет при длине 0,71 м и массе 4,5 кг. (Вовк, 1948; Подлесный, 1958; Решетников, 1980; Аннотированный каталог..., 1998; Разнообразие рыб Таймыра, 1999; Атлас пресноводных рыб..., 2002; Белов, Заделёнов, 2010 а, б; Белов и др., 2011 а; Белов, Заделёнов, 2013; Заделёнов, 2015 а; Попов, 2001, 2007; Пресноводные рыбы Средней Сибири, 2016; Рыбы в заповедниках России, 2010 и др.). Массовое созревание полупроходной нельмы происходит у самок в возрасте 16–18 лет, у самцов — 14–16 лет. Зрелые самки значительно превосходят одновозрастных самцов по длине на 50–120 мм и массе тела на 2,0–3,5 кг (Заделёнов, 1999, 2015 а).

Индивидуальная абсолютная плодовитость нельмы, по обобщенным материалам Красноярского отделения Востсибрыбниипроект (ныне — Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО») за 1977–1982 гг., колебалась от 53 до 416 тыс. икринок и функционально зависела от длины и массы тела самок (Куклин, Лопатин, 1983). По материалам этого же научного учреждения в 1994–1996 гг., плодовитость нельмы колебалась от 130 тыс. (длина самки 0,8 м) до 395 тыс. (длина самки 1,1 м) икринок (Заделёнов, 1999). В 2006–2008 гг. величина этого показателя составила от 70 до 249 тыс. икринок (в среднем 150 тыс.). (Белов, Заделёнов, 2010 а, б; Заделёнов, 2015 а). Относительная плодовитость нельмы в среднем составляла 23–25 икринок на 1 г массы тела. Масса икринки у нельмы изменялась от 6–7 мг в начале нерестовой миграции до 11–13 мг — в конце.

Для оценки уровня воспроизводства популяции нельмы в различные годы проводили расчет количества производителей на нерестилищах, расположенных выше д. Сумароково, и общего фонда икры (Заделёнов, 1999; Белов, Заделёнов, 2010 а). Полученные результаты показали стабильный уровень воспроизводства в 1970–1990х гг., в начале XXI в. отмечается снижение числа производителей на подходе к нерестилищам и, как следствие, уменьшение общего фонда икры (Белов, Заделёнов, 2010 а; Заделёнов, 2015 а).

Соотношение самцов и самок в нерестовом стаде близко к 2:1, нерест неежегодный (Куклин, Лопатин, 1983; Попов, 2007; Заделёнов, 1999, 2015 а; Белов, Заделёнов, 2010 а, 2011 а).

По многолетним наблюдениям сотрудников НИИЭРВ (Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО») нерестовые миграции нельмы наблюдаются в Туруханском районе (остров Сумароковский) с третьей декады августа и по вторую декаду октября. Пик нерестового хода, как у самок, так и у самцов, приходится на первую декаду октября. Указывается, что в начале XXI столетия произошла перестройка нерестового хода нельмы, выражающаяся увеличением миграционного срока (около 20 сут.). По мнению авторов, это вызвано приспособительной реакцией нерестовой части популяции нельмы на изменение гидрологических условий, поэтому массовая нерестовая миграция производителей должна приходиться на вторую декаду сентября — первую декаду октября. В течение суток нерестовые миграции нельмы стабильны на протяжении 30 лет. Производители в начале хода мигрируют в ночные часы, а во время массового хода и по его завершении движутся в дневные (Белов, Заделёнов, 2010 а).

Питание, пищевое взаимоотношение и пищевое обеспечение нельмы в р. Енисее освещались в работах (Лавров, Исаченко, 1911; Исаченко, 1912; Романова, 1948; Грезе, 1957; Криницын, 1989; Белов, 2016 и др.).

Взрослая нельма является типичным хищником, однако молодь долгое время питается организмами бентоса и даже планктона. По поведению, способу добывания и характеру потребления пищи, нельма является хищником пелагической зоны. Переход на питание рыбой происходит постепенно. В рационе молоди длиной около 100–150 мм зообентос составляет около 40% пищи. На 3-м году (по достижению длины более 200 мм) нельма почти полностью переходит на рыбную диету (Романова, 1948; Грезе, 1957), Излюбленной пищей в губе и Енисейском заливе Карского моря является ряпушка и корюшка (Лавров, Исаченко, 1911; Исаченко, 1912; Грезе, 1957).

Проведенными исследованиями питания нельмы в р. Енисее показано, что производители питаются в период нерестовой миграции на р. Енисей вблизи о. Сумароковский (где находятся известные нерестилища этого вида). Установлена половая избирательность питания. Так, в желудках самок обнаружена только ряпушка (сроки нерестовой полупроходной формы которой совпадают с таковыми миграциями нельмы); самцы, имеющие более широкий возрастной диапазон и, соответственно, размерные отличия, потребляют кроме ряпушки ельца, плотву, ерша, тугуна. Отмечено, что интенсивность процесса питания особей ослабевает при подходе к нерестилищам (Белов, 2016).

Промысел. В истории промысла рыбы на Енисее нельма всегда являлась одним из предпочитаемых объектов добычи. В статистике коммерческих уловов на Енисее нельма отмечается с конца XIX столетия; ее уловы в то время не превышали 15 т. К концу дореволюционного периода вылов возрос до 24 т (Вовк, 1948). В 1930-е годы максимальные уловы зарегистрированы в 1937 г. — 126 т. Промысел нельмы основывался на облове нерестовой части популяции во время миграции (на подъеме и скате рыбы), в это время отлавливали 75–80% от общей добычи, при этом на нерестилищах — 10–12% и на нагуле — 5–6%. Основу вылова составляли рыбы со средней длиной по Смитту 0,88–0,92 м (Вовк, 1948).

Во время Великой Отечественной войны правила рыболовства не соблюдались и, как следствие, добыча нельмы возросла до 171 т, в основном за счет молодых возрастных групп. В период 1946–1955 гг. уловы нельмы, при наличии той же производственной базы и числа рыбаков, снизились и составили в среднем около 85 т (Подлесный, 1958). В дальнейшем, вплоть до 1970 г., шло неуклонное снижение добычи нельмы (до 9 т), при этом общий объем изъятия, по экспертной оценке, превышал официальный вылов в несколько раз, после чего с 1968 г. на специализированный промысел этого вида в бассейне Енисея ввели запрет (Андриенко и др., 1989). Но, несмотря на это, в 1974 г. лов нельмы разрешили в качестве прилова при зимнем промысле муксуна, и сразу же официальный вылов нельмы вырос до 80–150 т (в среднем около 100 т ежегодно). Во время этого промысла вылавливалось до 40% годовой добычи нельмы, причем из них 80% — неполовозрелые рыбы длиной около 0,5 м и массой 2,5 кг.

В 1970–1980 гг. произошла смена промысловой стратегии — вылов, иначе прилов, нельмы стал базироваться на неполовозрелой части популяции, которая еще не принимала участия в нересте. «Новая промысловая политика» в отношении этого вида быстро сказалась на уловах: в 1980-е гг. годовой вылов составлял около 70 т, с 1991 г. он постоянно сокращался, а в 1993–1994 гг. добыча упала до уровня менее 30 т. В то время сокращение вылова объяснялось общей тенденцией ухудшения организации промысла сиговых рыб в низовьях Енисея, вызванной развалом рыбной промышленности (Заделёнов, 1999). Тем не менее, при анализе размерно-возрастного состава производителей отмечалось, что в промысловом стаде нельмы снизилась доля пополнения (Заделёнов, 1999).

Во втором десятилетии XXI в. только официальный ежегодный вылов составлял около 25 т. Уровень ее фактической добычи неизвестен, т.к. создание многочисленных предприятий по промышленному лову рыбы

на Енисее привело к полному развалу достоверной статистики. По оценке Красноярского филиала ФГБНУ «ВНИРО», в это время объем ежегодного изъятия нельмы составлял не менее 200 т (50% на путях нерестовых миграций, 50% — на нагуле в Енисейской губе и заливе) (Заделёнов, 2015 а), т.е. фактические объемы изъятия нельмы были выше установленных объемов квот. Для нельмы характерен неполный учет добычи, когда часть улова сбывается нелегально.

Проблема моделирования смертности ихтиофауны является одной из центральных при промысловой эксплуатации рыбных запасов. Для решения подобного рода задач опубликованы работы, касающиеся исследования демографических характеристик, смертности, оценки кормовой базы, кратности нереста, плодовитости и др. В качестве метода исследования использовался аппарат концептуально-феноменологического анализа (Гайденок и др., 2008 б), где целевой функцией является экспертное заключение о «способности популяции держать вылов». В ряде публикаций рассматривалась степень удовлетворения (совпадения) расчетной динамики изменения численности с мнением экспертов о возможной динамике изменения численности популяции нельмы на оказываемое воздействие (вылов). Детально эти процессы рассматривались в работах при моделировании конкретных популяций представителей ихтиофауны Енисея. Корректировка величин смертности производилась на основе математического моделирования: серией вычислительных экспериментов определялись такие значения смертности, которые не только позволяли моделируемой популяции выдерживать ретроспективную промысловую нагрузку, но и обеспечивали основные черты динамики популяции (Гайденок и др., 2002 а, б; 2003).

Искусственное воспроизводство нельмы. Начало рыбоводного освоения нельмы на Енисее датируется 1992 г. В то время приоритетными ставились задачи по оздоровлению ихтиоценоза Красноярского водохранилища и изменению негативной на-

правленности развития его экосистемы путем искусственного вселения вида рыб, занимающего нишу хищников. Планировалось, что хищник-нельма, играя роль биомелиоратора, способствовала бы улучшению структурных и функциональных показателей популяции частичковых рыб. В связи с этим, возникла необходимость разработки биотехники разведения нельмы р. Енисей, т.е. освоение нового для рыбоводных хозяйств Красноярского края объекта аквакультуры (Заделёнов, 1999; Скопцов и др., 1999; Бурнев, 2003; Заделёнов и др., 2008 а; Белов и др., 2011 б; Вышегородцев, Заделёнов, 2013).

Предполагалось ежегодное вселение в водохранилище молоди нельмы в количестве 200 тыс. экз. массой 7–8 г. После формирования многовозрастной структуры популяции нельмы ее ежегодные уловы оценивались в объеме 80 т (возраст более 4+ лет), при этом численность нельмы в водохранилище составит 385 тыс. экз., ихтиомасса — 537 т, суммарный годовой прирост возрастных групп от 0+ до 7+ лет — 245 т (Скопцов и др., 1999).

В настоящее время практически отсутствуют материалы, характеризующие ростовые показатели енисейской нельмы в условиях, отличающихся от естественных (речных). Единственные сведения получены сотрудниками Хакасского рыбокомбината, проводившими экспериментальное двухлетнее выращивание молоди енисейской нельмы в небольшом озере на юге Красноярского края в 1998 г. Ростовые показатели нельмы в озере опережали таковые в Енисее. Так, навеска сеголеток составляла 40–70 г, годовиков — 300–320 г.

В 2001–2007 гг. ФГНУ «НИИЭРВ» (ныне Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО») проводил рыбоводно-экспериментальные работы по выращиванию молоди нельмы в промышленных условиях и созданию ремонтно-маточных стад на базе научно-производственного комплекса (НПК) ФГНУ «НИИЭРВ» (Бурнев, 2003; Заделёнов, Белов, 2008 а; Заделёнов, 2015 б). На основании проведенных работ разрабо-

таны биотехнические нормативы разведения и выращивания молоди нельмы енисейской популяции, а также биотехнология формирования ремонтно-маточного стада в условиях бассейнового хозяйства (Заделёнов, Белов, 2008 а; Белов, Заделёнов, 2010 б; Заделёнов, 2015 б; Заделёнов, Дербинева, 2019).

В целях сохранения биоразнообразия водных биоресурсов, подверженных в первую очередь антропогенному прессу, Красноярским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («НИИЭРВ») разработаны рекомендации по предельно допустимым объемам выпуска подращенной молоди нельмы в р. Енисей, а также в Красноярское и Саяно-Шушенское водохранилища. Рекомендуемые ежегодные объемы выпуска молоди нельмы в среднее и нижнее течения р. Енисей (Прутовское мелководье, дельта, Пшеничный ручей) не превышают 3,5 млн шт. В Красноярское водохранилище определен выпуск нельмы в количестве 4–5 млн экз. навеской 1 г или 0,2 млн экз. навеской 7–8 г. В Саяно-Шушенское водохранилище оптимальным считается выпуск молоди в количестве около 2 млн экз. навеской 1 г или 0,06 млн экз. навеской 7–8 г.

В настоящее время известен только один выпуск молоди нельмы в Красноярское водохранилище в количестве 806 шт., который проводился 2017 г. в рамках работ по искусственному воспроизводству. Выпуск молоди нельмы в р. Енисей еще ни разу не проводился.

Антропогенное влияние на нельму р. Енисей. На снижение численности ценных видов рыб в Енисее из-за вылова большого количества неполовозрелой рыбы обратили внимание еще Исаченко и Лавров в 1908 г. (Исаченко, Лавров, 1908). Вовк уже конкретно писал, что в случае перелова нельмы восстановление стада идет очень медленно, поэтому необходим постоянный контроль за состоянием ее стада (Вовк, 1948).

В середине 1990-х гг. резко возросло незаконное изъятие полупроходных видов фауны Енисей, связанное с социальными преобразованиями в стране (Заделёнов,

1999). В ряде публикаций указывается, что из-за высокой потребительской стоимости нельмы и ее доступности для промысла с каждым годом стали возрастать масштабы изъятия из популяции особей всех возрастов и в особенности зрелых производителей (Куклин, 1999; Лопатин, Заделёнов, 2006).

Наряду с сокращением уловов произошло и качественное изменение нерестового стада. С 1994 по 2006 гг. уменьшилась длина производителей, сократился возрастной ряд. В уловах стала попадаться рыба с характерными шрамами, возникающими в результате схода нельмы с крючков-самоловов. Доля таких рыб составила от 2 (2006 г.) до 5% (2007 г.). Сделан вывод, что браконьерство приняло такие размеры, что практически все русло Енисея в пределах миграций нельмы заставлено этими ловушками (Заделёнов, Белов, 2008 б; Заделёнов, 2015 а).

Русловое регулирование Енисея плотинами ГЭС привело как к прямому сокращению ареала нельмы, так и к увеличению теплового стока воды в зимний период в связи с функционированием Красноярской ГЭС (Космаков и др., 1980; Космаков, 2001). Влияние «теплового загрязнения» инструментально прослеживается вплоть до устья р. Подкаменная Тунгуска (Космаков и др., 1980).

Кроме того, проведенные исследования Космакова с соавторами показали, что в зарегулированных условиях изменились сроки наступления шугохода и ледостава. По их мнению, увеличенная продолжительность переохлаждения воды в реке, а также сокращения сроков ледостава должны сказаться на ходе инкубации икры (Космаков и др., 2011).

В естественных условиях время инкубации икры нельмы в Енисее Вовк (1948) определял в 180 суток — от ледостава до распаления льда. Причем выклев и скат личинок приурочен именно к распалению льда, то есть ко времени подъема уровня воды в Енисее. Преждевременная инкубация икры, по его мнению, приводила бы к неизбежной гибели личинки из-за отсутствия пищи для нее — зоопланктона. По Гресе (1957), основной

источник питания молоди полупроходных рыб — зоопланктон и микрозообентос, поступающий с половодьем в Енисей из крупных левобережных притоков (Кас, Сым, Елогуй, Дубчес и др.). Распаление этих притоков после зарегулирования реки происходит позднее, чем на магистрали. Очевидно, что именно с тепловым загрязнением связана преждевременная инкубация икры нельмы, что может приводить к преждевременному вылуплению и меньшей жизнеспособности ее личинок.

После зарегулирования Енисея плотиной Красноярской ГЭС при стабильной интенсивности промысла в 1970–1980 гг. произошло падение среднегодовой добычи всех полупроходных сиговых видов в 1,3–1,5 раза и снижение урожайности (в 2–3 раза) поколений начиная с генерации 1970 г. (Андрюченко, 1985; Андрюченко и др., 1989). Авторы связывали это явление с прекращением пропусков паводковых вод Красноярской ГЭС и соответствующего снижения температуры в низовьях реки в весенний (май — июнь) период.

Известно, что самые крупные нерестилища нельмы на Енисее расположены в основном выше таковых всех других полупроходных сиговых. Поэтому негативное влияние зарегулирования должно, в первую очередь, сказаться на этом виде, о чем косвенно свидетельствует снижение доли нельмы в прилове в низовьях Енисея в начале — середине 1990-х гг. Подчеркивалось, что в том районе отлавливалась именно мелкая, неполовозрелая нельма. В эти же годы и в уловах нерестового стада произошло сокращение доли впервые нерестующих рыб (Заделёнов, 1999, 2015 а).

Нерациональный промысел прошлых лет, браконьерский и неучтенный вылов нельмы в пределах ареала, строительство новых крупных ГЭС в Ангаро-Енисейском бассейне, загрязнение реки сточными водами привели к снижению численности и воспроизводства этого ценного вида рыб. Вышеприведенные данные позволяют автору (Заделёнов, 2015) дать рекомендации об

отнесении нельмы в р. Енисее к редким в настоящее время видам рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сохранения популяции нельмы ранее приняты следующие меры: в 1968 г. введен запрет на специализированный промысел нельмы в р. Енисее (в 1974 г. добыча нельмы разрешена в качестве прилова). Указанное мероприятие не привело, да и не могло привести, к улучшению состояния популяции нельмы.

К первой половине нулевых годов концепция воспроизводства нельмы на Енисее несколько трансформировалась. Если в конце XX столетия это мероприятие рассматривалось как биомелиорация каскада Ангаро-Енисейских водохранилищ, то позднее, с падением численности, искусственное разведение этого вида уже выглядело как необходимая природоохранная мера (Лопатин, Заделёнов, 2006; Заделёнов и др., 2008 а, б, 2010; Белов и др., 2011 б; Заделёнов, Шадрин, 2011, 2013, 2015; Шадрин, Заделёнов, 2015, Заделёнов, 2015 а, б). Восстановление численности нельмы предлагалось осуществлять за счет создания особо охраняемых природных территорий (Лопатин, Заделёнов, 2006; Белов, Заделёнов, 2011 б; Белов и др., 2011 б; Заделёнов и др., 2011; Шадрин, Заделёнов, 2015; Заделёнов, 2008, 2010, 2015 а).

В настоящее время, на основании многолетней динамики биологических показателей, рыбопромысловой обстановки, а также сложившейся отрицательной тенденции состояния популяции нельмы за последние годы, на Рыбохозяйственном совете (№ 2/2018 от 15.02.2018 г.) коллегиально было принято решение о запрете добычи нельмы всеми видами рыболовства в водоемах Красноярского края (реки бассейна р. Енисей). Квоты на вылов нельмы запланированы только для научно-исследовательских ловов и для целей аквакультуры.

В рейтинговом списке Енисейского рыбохозяйственного района нельма следует за осетровыми, что подчеркивает ее ценность

для экосистемы и промысла. В связи с этим, необходимо в будущем применять рыбоохранные, рыбоводные и управленческие мероприятия для ее сохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андриенко А.И. Современное состояние популяций сиговых Нижнего Енисея // Мат-лы III Всесоюз. совещания по биол. и биотехнике развед. сиговых рыб. Тюмень, 1985. С. 182–185.

Андриенко А.И., Богданов Н.А., Богданова Г.И. и др. Рыбохозяйственная характеристика основных естественных водоемов Красноярского края // Тр. ГосНИОРХ. 1989. Вып. 296. С. 3–19.

Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. М.: Наука, 1998. 220 с.

Атлас пресноводных рыб России. Т. 1. М.: Наука, 2002. 379 с.

Белов М.А. Особенности спектра питания нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Güldenstädt, 1772) реки Енисей в период нерестового хода // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2016. № 2. С.19–24.

Белов М.А., Заделёнов В.А. Характеристика основных биологических показателей нерестового стада енисейской нельмы // Мат-лы Междунар. науч.— практ. конф. «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов мирового океана». Ч. 1. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010 а. С. 28–31.

Белов М.А., Заделёнов В.А. Формирование ремонтно-маточного стада нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Pallas) енисейской популяции. Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб. Тюмень, Госрыбцентр. 2010 б. С.74–78.

Белов М.А., Заделёнов В.А. Динамика нерестового хода енисейской нельмы // Вестник КрасГАУ. 2011 а. № 1. С. 108–114.

Белов М.А., Заделёнов В.А. О возможности создания рыбохозяйственных запovedных зон в связи с сохранением нельмы на реке Енисей // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2011 б. № 7. С. 20–23.

Белов М.А., Заделёнов В.А., Шадрин Е.Н., Мучкина Е.Я. Современное состояние нерестового стада енисейской нельмы *Stenodus leucichthys*: Современное состояние водных биоресурсов внутренних водоемов // Мат-лы докладов 1 Всерос. конф. с междунар. участием. Борок, 2011 а. Т. 1. С. 55–59.

Белов М.А., Заделёнов В.А., Мучкина Е.Я. Возможные пути увеличения численности нельмы в реке Енисее // Мат-лы междунар. науч.— практич. конф. «Аквакультура Европы и Азии: реалии и перспективы развития и сотрудничества». Тюмень, Госрыбцентр, 2011 б. С. 12–14.

Белов М.А., Заделёнов В.А. Состояние нерестовой части популяции нельмы *Stenodus leucichthys* (Güldenstädt, 1772) в р. Енисей // Вестн. Том. гос. ун-та. 2013. № 368. С. 177–179.

Берг Л.С. Рыбы пресных вод Российской империи. Департамент земледелия. М.: Типография товарищества Рябушинских, 1916. 563 с.

Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 1. М.Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 466 с.

Березовский А.И. О сиговых р. Енисей. // Тр. Сиб. ихтиолог. лаборатории. Красноярск, 1924. Т. 2. Вып.1. С. 81–97.

Богуцкая Н.Г., Насека А.М. Каталог бесчелюстных рыб пресноводных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями // Москва: Тов-во науч. изданий КМК, 2004. 389 с.

Бурнев С.Л. Опыт искусственного воспроизводства енисейской нельмы // Междунар. симпозиум «Холодноводная аквакультура». СПб., 2003. С. 130.

Вовк Ф.И. Нельма р. Енисей // Тр. СО ВНИОРХ. 1948. Т. 7. Вып. 2. С. 81–109.

Вышегородцев А.А. Рыбы Енисей. Новосибирск: Наука, 2000. 175 с.

Вышегородцев А.А., Заделёнов В.А. Промысловые рыбы Енисей. Красноярск: СФУ, 2013. 303 с.

Гайденок Н.Д. О полибиоме Енисей // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии // Труды III Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Барнаул, 2017. С. 75–90.

Гайденок Н.Д., Заделёнов В.А., Чмаркова Г.М. Прогнозирование численности енисейского осетра // XII междунар. конф. по промысловой океанологии. Калининград: АтлантНИРО, 2002 а. С. 62–64.

Гайденок Н.Д., Заделёнов В.А., Чмаркова Г.М. Экология и промысел популяции осетра р. Енисей // 8-я междунар. науч.-практич. конф. Сибресурс–8–2002. Доклады. Кемерово. Изд-во Томского ун-та, 2002 б. Ч. 1. С.28–31.

Гайденок Н.Д., Чмаркова Г.М., Заделёнов В.А., Мамонтов А.М. К экологии и промыслу популяции стерляди бассейна р. Енисей // Тр. Всерос. конф. «Наука и образование в системе водного транспорта». Красноярск, 2003. С. 157–164.

Гайденок Н.Д., Исаева О.М., Заделёнов В.А. О неоднородности популяции енисейской нельмы // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. Красноярск: Изд-во КНИИГиМС, 2008 а. Вып. 10. С. 30–33.

Гайденок Н.Д., Заделёнов В.А., Чмаркова Г.М., Глечиков В.В. Феноменологический базис естественной смертности ихтиофауны (на примере Енисей) // Проблемы и перспективы использования водных биоресурсов Сибири в XXI веке: мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск, 2008 б. С. 17–22.

Гайденок Н.Д., Исаева О.М., Чмаркова Г.М. Структура популяционного континуума нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Güldenstädt, 1772) Енисей // Рыбное хоз-во. 2011. № 1. С.65–68.

Головки В.И. Рыбы реки Турухан: Автореф. дис. канд. биол. наук. Томск: ТГУ, 1971. 20 с.

Грезе В.Н. Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование // Изв. ВНИОРХ. Т. 41. М.: Пищепромиздат, 1957. 235 с.

- Дмитриев В.Н.* Рыбы и рыбный промысел в низовьях реки Енисей // Труды ин-та полярн. землед., животн. и пром. хоз-ва. Л.: изд-во Главсевморпути. 1941. Вып. 16. С. 7–35.
- Заделёнов В.А.* Характеристика структуры нерестового стада и условий воспроизводства енисейской нельмы // Проблемы и перспективы рационального использования рыбных ресурсов Сибири. Красноярск: Изд-во КГПУ, 1999. С. 41–47.
- Заделёнов В.А.* Сохранение биологического разнообразия ценных видов рыб в водоемах Красноярского региона // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2008. № 3. С. 3–7.
- Заделёнов В.А.* Создание ихтиологических особо охраняемых природных территорий как элемента охраны окружающей среды // Инновационные процессы в современном образовании России как важнейшая предпосылка социально-экономического развития общества. Мат-лы Междунар. конф. Красноярск: ИПК СФУ, 2010. С. 514–519.
- Заделёнов В.А.* К характеристике редких видов рыб фауны реки Енисей // Вопр. рыболовства. 2015 а. Т. 16. № 1. С. 24–39.
- Заделёнов В.А.* Искусственное воспроизводство нельмы в Красноярском крае // Сиб. вестник сельскохоз. науки. 2015 б. № 4. С. 45–51.
- Заделёнов В.А., Белов М.А.* Формирование ремонтно-маточного стада нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Pallas) енисейской популяции // Вестник КрасГАУ. 2008 а. № 4. С. 144–148.
- Заделёнов В.А., Белов М.А.* Антропогенное влияние на нельму *Stenodus leucichthys nelma* (Pallas) енисейской популяции // Современное состояние водных биоресурсов. Мат-лы Междунар. конф. Новосибирск, 2008 б. С. 228–233.
- Заделёнов В.А., Шадрин Е.Н., Долгих П.М.* Состояние рыбного хозяйства в водохранилищах Ангаро-Енисейского каскада // Рыбное хоз-во. 2008 а. № 6. С. 66–69.
- Заделёнов В.А., Заворуев В.В., Шадрин Е.Н.* Практические мероприятия по сохранению биологического разнообразия водных биоресурсов в водоемах Красноярского региона // Проблемы и перспективы использования водных биоресурсов Сибири в XXI веке: мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск, 2008 б. С. 276–284.
- Заделёнов В.А., Шадрин Е.Н., Долгих П.М.* Проблемы рыбного хозяйства в водохранилищах Ангаро-Енисейских ГЭС // Природные ресурсы Сибири. Современное состояние и проблемы природопользования. Новосибирск: Наука, 2010. С. 125–137.
- Заделёнов В.А., Шадрин Е.Н.* Воспроизводство ценных видов рыб в Красноярском крае // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2011. № 5–6. С. 30–33.
- Заделёнов В.А., Заворуев В.В., Шадрин Е.Н.* Практические мероприятия по сохранению биологического разнообразия водных биоресурсов в водоемах Красноярского региона // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2011. № 8. С. 29–33.
- Заделёнов В.А., Шадрин Е.Н.* Искусственное воспроизводство ценных видов рыб в Красноярском крае // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2013. № 1. С. 39–48.
- Заделёнов В.А., Шадрин Е.Н.* Перспективы искусственного воспроизводства водных биоресурсов р. Енисей для сохранения и восстановления их запасов // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2015. № 1–2. С. 46–50.
- Заделёнов В.А., Дербинева Е.В.* О подходе к созданию маточных стад ценных промысловых видов рыб в промышленных условиях // Рыбоводство и рыбное хоз-во. 2019. № 2. С. 21–28.
- Исаева О.М., Гайденок Н.Д., Заделёнов В.А.* Неоднородность популяций нельмы р. Енисей. X съезд Гидробиол. общества при РАН. Владивосток, 2009. С. 170–171.
- Исаева О.М., Заделёнов В.А., Белов М.А. и др.* Морфология и генетическая структура популяций нельмы р. Енисей // Мат-лы Всерос. конф. «Биологическое разнообразие и продуктивность водных экосистем Севера». Якутск, 2012 а. ЯФ ФГУП Госрыбцентр. С. 147–154.

Исаева О.М., Заделёнов В.А., Политов Д.В. и др. Популяционно-генетическая структура нельмы *Stenodus leucichthys nelma* р. Енисей // Реки Сибири и Дальнего Востока. Мат-лы межд. науч.—практич. конф.: WWF России, 2012 б. С. 172—176.

Исаева О.М., Заделёнов В.А., Политов Д.В. Популяционная изменчивость нельмы р. Енисей // Современное состояние и методы изучения экосистем внутренних водоемов. Мат-лы Всерос. научн. конф. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2015. С.157—161.

Исаева О.М., Гайденок Н.Д., Заделёнов В.А. Структура популяции полупроходных рыб реки Енисей на примере длинноциклового вида *Stenodus leucichthys nelma* нельма // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Мат-лы VIII Всерос. науч.-практич. конф. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. С. 98—105.

Исаченко В.Л. Рыбы Туруханского края, встречающиеся в р. Енисей и Енисейском заливе // Мат-лы по исслед. р. Енисея в рыбопромысловом отношении. Красноярск: тип. М.И. Абалакова, 1912. Вып. 6. С 3—111.

Исаченко В.Л., Лавров С.Д. Материалы по исследованию Енисея в рыбопромысловом отношении. Вып. 1. Предварительный отчет по исследованиям 1908 года (Низовья р. Енисея и Енисейский залив). Красноярск: тип. М.И. Абалакова, 1908. Вып. 1. 64 с.

Космаков И.В., Петров М.В., Андреева Т.Г. Некоторые особенности гидрологического режима глубоководного Красноярского водохранилища в период нормальной эксплуатации // Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища. Красноярск: Ред.—изд. отдел КГПУ, 1980. С. 3—26.

Космаков И.В. Термический и ледовый режим в верхних и нижних бьефах высоконапорных гидроэлектростанций на Енисее. Красноярск: Изд-во «Кларентиум», 2001. 144 с.

Космаков И.В., Петров В.М., Заделёнов В.А. Воздействие изменения ледового режима Енисея ниже плотины Красноярской ГЭС на ихтиофауну реки // Геориск. 2011. № 1. С. 32—36.

Кривошапкин М.Ф. Енисейский округ и его жизнь. СПб.: Тип. В. Безобразова, 1865. Т. 1—2. 378 с.

Криницын В.С. Особенности биологии и распространения промысловых рыб Енисейского залива // Тр. ГосНИОРХ. 1989. Вып. 296. С. 130—141.

Куклин А.А. Ихтиофауна водоемов бассейна Енисея: изменения в связи с антропогенным воздействием // Вопр. ихтиологии. 1999. Т. 39. № 4. С. 478—485.

Куклин А.А., Лопатин В.В. Структура нерестовой части популяции енисейской нельмы // Тез. X Всесоюз. симп. «Биологические проблемы Севера». Ч. 2. Магадан, 1983. С. 187—188.

Кытманов А.И. О рыболовстве по р. Енисею: от Енисейска до Гольчихи: отдельный оттиск из журнала «Русское судоходство» № 192. Красноярск, 1898. 49 с.

Лавров С.Д., Исаченко В.Л. О пище рыб низовьев р. Енисея и Енисейского залива до бухты капитана Варзугина // Мат-лы по исслед. р. Енисей в рыбопром. отношении. Казань: лито-тип. И.Н. Харитоновна, 1911. Вып. 3. 59 с.

Лопатин В.Н., Заделёнов В.А. Сохранение биологического разнообразия редких и исчезающих видов рыб в водоемах Красноярского края // Рыб. хоз-во, 2006. № 5. С. 43—46.

Миддендорф А.Ф. Путешествие на север и восток Сибири. Ч.1. СПб, 1860. Ч.2. СПб, 1869—1877. 259 с.

Очерки истории рыбохозяйственных исследований Сибири (1908—1968 гг.). Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. 354 с.

Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российской Империи по повелению Санкт Петербургской императорской академии наук / пер. с нем. Ф. Томаманского (ч. 2), В. Зуева (ч. 3). СПб.: при

- Имп. акад. наук, ч. 1, 1773. 657 с.; ч. 2, кн. 1, 1786. 476 с.; ч. 2, кн. 2, 1786. 571 с.; ч. 3, половина 1, 1788. 624 с.; ч. 3, половина 2, 1788. 480 с.
- Подлесный А.В.* Рыбное хозяйство в низовьях Енисея. Красноярск, 1945. 57 с.
- Подлесный А.В.* Рыбы Енисея, условия их обитания и использования // Изв. ВНИОРХ. 1958. Т. 44. С. 97–179.
- Попов П.А.* Рыбы Сибири: круглоротые, осетровые, лососевые, хариусовые, корюшковые: учебное пособие: Новосибирский ГУ, 2001. 172 с.
- Попов П.А.* Рыбы Сибири: Распространение, экология, вылов. Новосибирск: Новосибирский ГУ, 2007. 525 с.
- Пресноводные рыбы Средней Сибири: монография / Н.А. Богданов, Г.И. Богданова, А.Н. Гадинов, В.А. Заделёнов и др., Норильск: АПЕКС, 2016. 200 с.
- Разнообразие рыб Таймыра: Систематика, экология, структура видов как основа биоразнообразия в высоких широтах, современное состояние в условиях антропогенного воздействия / Д.С. Павлов, К.А. Савваитова, М.А. Груздева и др. М.: Наука, 1999. 207 с.
- Решетников Ю.С.* Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.
- Решетников Ю.С.* Современный статус сиговых рыб и перспективы использования их запасов // Биология сиговых рыб. М. Наука, 1988. С. 5–31.
- Романова Г.П.* Питание рыб в нижнем Енисее: Труды Сиб. отд-ния ВНИОРХ. Красноярск. 1948. Т. 7. Вып. 2. С. 149–203.
- Рузский М.Д.* О рыбах верхнего течения р. Енисей // Изв. Том. ун-та. 1916. Т. 65. 18 с.
- Рыбы в заповедниках России. Т. 1. Пресноводные рыбы. М.: Т-во науч. издний КМК, 2010. 627 с.
- Сидоров Г.П., Решетников Ю.С.* Рыбы водоемов европейского северо-востока. М.: КМК, 2014. 346 с.
- Скопцов В.Г., Долгих П.М., Кочергина О.В.* О возможности оптимизации структуры ихтиоценоза Красноярского водохранилища за счет вселения хищного вида — енисейской нельмы // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. Красноярск: Изд-во КНИИГиМС, 1999. С. 188–198.
- Третьяков П.И.* Туруханский край, его природа и жители. Записки русского географического общества. Петербург, 1869. С. 215–530.
- Шадрин Е.Н., Заделёнов В.А.* Система мероприятий по сохранению ценных видов рыб в водных объектах Центральной Сибири // Актуальные проблемы аквакультуры в современный период: Мат-лы Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону. Изд-во: ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. С. 197–200.
- Isaeva O.M., Zadeleyonov V.A., Belov M.A.* Ecological differentiation of spawning inconnu in the Yenisey River. 10th Int. Symp. on the Biology and Management of Coregonid Fishes (Winnipeg, Manitoba, Canada. August 25–29, 2008). Winnipeg, 2008. P. 30.

**INCONNU *STENODUS LEUCICHTHYS NELMA* (PALLAS, 1773)
(SALMONIFORMES, COREGONIDAE) RIVER YENISEI: POPULATION
STRUCTURE, FISHERY, REPRODUCTION**

© 2020 y. V.A. Zadelenov^{1,2}, E.V. Derbineva¹

¹Krasnoyarsk branch of the Russian Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography, Krasnoyarsk; 660097

²Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, 660097

River-basin Yenisei white salmon research history is given for more than 100 year period, information about the herd structure, age and growth, puberty and fertility, nutrition,

fishing, attempts of artificial reproduction. Notice that amplitudious anthropogenic influence significantly changed the ecotope of this species, fish stock and population size decreased noticeably by the beginning of the XXI century. River Yenisei inconnu population conservation activities chronology is given. Results presented about River-basin Yenisei inconnu fish-rearing development, among others the possible juveniles release volumes.

Keywords: inconnu *Stenodus leucichthys nelma*, river Yenisei, research history, population, structure, reproduction, fishery.

БИОЛОГИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 597.2/5–19 (28)

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОФАУНЫ
КУРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ**

© 2020 г. А. Д. Быков

*Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, 107140
E-mail: 89262725311@rambler.ru*

Поступила в редакцию 7.05.2020

По результатам многолетних рыбохозяйственных исследований на водохранилищах Курской области приводятся сведения об особенностях гидролого-гидрохимического режима, структуре планктонных и бентосных сообществ и современном составе ихтиофауны Железнодорожного, Старооскольского и Курчатовского водохранилищ. Показана многолетняя динамика структуры сетных уловов и уловов мальковой волокушей. Установлено изменение структуры сетных уловов в зависимости от шага ячеи применяемых сетей. Рыбная часть сообщества данной группы водоемов достаточно стабильна и представлена преимущественно эврибионтными видами лимнофильной экологической группы. Дается оценка негативного влияния тилапии на ихтиоцены Курчатовского водохранилища.

Ключевые слова: Железнодорожное, Старооскольское, Курчатовское водохранилища, состав ихтиофауны, структура уловов.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и дальнейшее развитие во второй половине XX в. на территории Курской и Белгородской областей советской горнорудной промышленности (на базе железнорудных месторождений Курской магнитной аномалии) и энергетики привело к появлению в регионе малых водохранилищ спецводопользования. Приоритетной задачей строительства водохранилищ было техническое водоснабжение системы охлаждения реактора Курской атомной электростанции (далее КуАЭС) (Курчатовское), объектов Михайловского (Железнодорожное) и Лебединского (Старооскольское) горно-обогатительных комбинатов.

Комплексные рыбохозяйственные исследования водоема-охладителя КуАЭС впервые проводились Саратовским отделением ГосНИОРХ в 1982 г. (Мосяш, Саппо, 1989). В дальнейшем, на протяжении 25 лет ресурсные ихтиологические исследования на водоеме-охладителе не прово-

дились. В 1999–2006 гг. сотрудники МГУ изучали процессы «термического эвтрофирования» экосистемы, гидрохимический режим, структуру планктонных сообществ, фитобентос и зооперифитон с целью разработки рекомендаций для борьбы с биопомехами, возникающими при эксплуатации водоема-охладителя АЭС (Безносков и др., 2002; Лихачева и др., 2011).

На Старооскольском и Железнодорожном водохранилищах в рамках ихтиологического мониторинга первые рекогносцировочные учетные съемки ставными сетями были проведены в мае 2007 г. сотрудниками лаборатории пресноводных рыб ФГБНУ «ВНИРО» с целью определения запасов промысловых видов рыб и разработки прогноза рекомендуемого вылова водных биоресурсов на водных объектах Курской области. Регулярные рыбохозяйственные исследования на Старооскольском водохранилище были продолжены с 2010 г. когда этот водоем стал относиться к зоне ответственности

ФГУП «ВНИИПРХ» (Жарикова и др., 2014; Шмакова и др., 2014; Головина и др., 2017).

Целью данной работы является обобщение современных сведений о составе рыбного населения и структуре ихтиоценов курских водохранилищ по результатам десятилетних рыбохозяйственных исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Всего за период рыбохозяйственных исследований ФГБНУ «ВНИРО» на данных водоемах с мая по октябрь 2007–2018 гг. был собран и обработан на полный биологический анализ ихтиологический материал по 12 видам рыб, в том числе из Железнодорожного водохранилища — 1,45 тыс. экз; из Курчатовского водохранилища — 1,1 тыс. экз; из Старооскольского — 0,89 тыс. экз. Массовым промерам были подвергнуты 1,5 тыс. экз. наиболее многочисленных видов рыб в Железнодорожном водохранилище и 0,9 тыс. экз. — в Курчатовском водохранилище.

Для проведения учетных съемок на водохранилищах Курской области применяли порядки одностенных ставных сетей с шагом ячеи от 14 до 70 мм выставляемых по многолетней сетке станций. Всего за период исследований было проанализировано 225 уловов разноячеистых ставных сетей.

Оценку относительной численности отдельных видов рыб в структуре ихтиоценов курских водохранилищ проводили по показателям встречаемости в уловах ставных сетей и мальковой волокуши. Встречаемость вида (N_n) в данном случае подразумевает долю вида в структуре улова по численности, пересчитанную в % по показателям среднего стандартизированного улова на усилие (количество экз. рыб на сеть площадью 50 м² пойманной за 24 ч). Среднюю встречаемость вида (\bar{N}_n) в уловах одного порядка разноячеистых сетей рассчитывали делением суммы встречаемости этого вида ($\sum N_n$) в каждой сети с определенным шагом ячеи на количество сетей ($n_{\text{сетей}}$) в порядке.

$$\bar{N}_n = \sum N_n / n_{\text{сетей}}, \text{ где}$$

\bar{N}_n — средняя встречаемость вида в уловах сетного порядка, %;

$\sum N_n$ — сумма встречаемости этого вида в каждой сети порядка;

$n_{\text{сетей}}$ — количество сетей в порядке.

Осредненную долю вида (\bar{N}_n) в структуре уловов ставных сетей за съемку рассчитывали делением суммы встречаемости вида ($\sum N_n$) во всех сетных порядках, выставляемых по сетке станций на количество учетных станций на данном водоеме ($n_{\text{станций}}$).

$$\bar{N}_n = \sum N_n / n_{\text{станций}}, \text{ где}$$

\bar{N}_n — осредненная доля вида в улове за съемку, %;

$\sum N_n$ — сумма встречаемости этого вида во всех порядках;

$n_{\text{станций}}$ — количество учетных станций на водоеме.

Структуру ихтиоценов литоральной зоны курских водохранилищ устанавливали по результатам 25 притонений мальковой волокушей (длина 5 м, шаг ячеи в крыльях и мотне 6 мм). Видовую структуру уловов мальковой волокушей рассчитывали в % встречаемости отдельных видов по схеме расчетов для ставных сетей приведенной выше.

Систематическое положение и латинские названия рыб приведены в соответствии с Атласом (Атлас..., 2002) и каталогом (Fishbase, 2019).

Статистическую обработку данных осуществляли биометрическими методами (Плохинский, 1970) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel.

Краткая характеристика курских водохранилищ

Курские водохранилища расположены на юго-западных склонах Среднерусской возвышенности и характеризуются всхолмленным равнинным рельефом с высокой густотой овражно-балочной сети. Железнодорожное и Курчатовское водохранилища построены на водотоках (Свапа и Сейм)



Рис 1. Карта-схема расположения водохранилищ на территории Курской области

бассейна верхнего течения р. Днепр. Старооскольское водохранилище построено на водотоках (Оскол, Апочка и Герасим) верхнего течения р. Дон (рис. 1).

Водосборная площадь водохранилищ расположена на черноземных почвах лесостепной зоны. Лесистость водосборного бассейна Железнодорожского водохранилища составляет 13%, а Старооскольского — 3% от площади района области.

По площади акватории данная группа водоёмов относится к категории малых водохранилищ (табл. 1). По форме акватории и извилистости береговой линии Железнодорожское и Старооскольское водохранилища относятся к простым долинным водохранилищам. Курчатовское водохранилище является водоемом-охладителем Курской АЭС наливного типа. Данные водоемы относительно мелководны, имеют ровный рельеф дна, с преобладающими глубинами в 4–5 м.

По режиму сработки уровня воды Железнодорожское и Старооскольское водохранилища относятся к двухфазному типу годового цикла: интенсивный весенний подъем и наполнение до НПУ за счет весеннего половодья и постепенное понижение уровня воды в результате сброса через гидроузел. Курчатовское водохранилище эксплуатируется в режиме водоема-охладителя КуАЭС.

Подкачка воды, компенсирующая потери на фильтрацию и испарение осуществляется из реки Сейм. Морфометрические и гидрологические показатели курских водохранилищ представлены в таблице 1.

Для Железнодорожского и Старооскольского водохранилищ характерен естественный термический режим, а Курчатовское водохранилище является водоемом-охладителем КуАЭС. Годовая сумма температур воды в нем составляет 7000 градусо-дней, а период с температурой воды выше 15°C составляет восемь месяцев (с марта до середины ноября).

Морфологические особенности курских водохранилищ (широких плёсы, мелководность) в условиях ветроволнового перемешивания препятствуют образованию стратификации водных масс (Материалы, 2017).

Вода курских водохранилищ гидрокарбонатно-кальциевого типа повышенной жесткости с общей минерализацией 300–400 мг/л (Алекин и др., 1973). По содержанию биогенных элементов курские водохранилища относятся к мезотрофным водоемам (Безносов и др., 2002; Материалы, 2017).

По трофическому статусу и своим лимнологическим характеристикам Железнодорожское и Старооскольское водохранилища относятся к мезотрофным водоемам.

Таблица 1. Морфометрические, гидрологические показатели курских водохранилищ

Показатели	Железногорское	Курчатовское	Старооскольское
Год ввода в эксплуатацию	1976	1975	1976
Субъект России, (административный район)	Орловская (Троснянский); Курская (Железногорский)	Курская (Курчатовский)	Курская (Горшеченский); Белгородская (Старооскольский)
Хозяйственное назначение	Производственное водоснабжение		
	Михайловский ГОК	Курская АЭС	Лебединский ГОК
Площадь водосбора, км ²	4990	нет	1470
Площадь при НПУ, га	1400	2150	4090
Площадь при УМО, га	246		
Объем при НПУ, млн м ³	41,1	94,6	203
Полезный объем, млн м ³	38,76	32,4	184
Средняя глубина при НПУ, м	2,7	4,4	3,2
Максимальная глубина при НПУ, м	7,0	9,5	13,5
Среднегодовой сток, млн м ³		наливное	209
Доля мелководий (глубины ≤ 2 м), в %	33	10	18

лица оцениваются как эвтрофные водоемы (Шмакова и др., 2014) а Курчатовское — как мезотрофный водоем (Безносков 1995; Безносков и др., 2002).

Видовая структура альгофлоры Железногорского и Старооскольского водохранилищ достаточно схожа между собой по видовому составу и динамике сезонных показателей развития. В Старооскольском водохранилище было зафиксировано 99 видов водорослей (Шмакова и др., 2014). В отличие от московских и вазузских (Гончаров, 2007), а также тульских водохранилищ, здесь не наблюдается массового «цветения» синезеленых водорослей в летний период. Средневегетационная биомасса фитопланктона в Старооскольском водохранилище составляла: 10,6 г/м³ в 2013 г.; 14,57 г/м³ в 2016 г. (Шмакова и др., 2014) В Железногорском — 12,1 г/м³ в 2013 г.; 13,7 г/м³ в 2017 г. (Материалы, 2017).

В Курчатовском водохранилище было зафиксировано 99 видов водорослей

(Лихачева и др., 2001). Подогрев воды вызывает смещение фенологических фаз в водоеме-охладителе КуАЭС. В течении года обычно наблюдается доминирование диатомовых водорослей. Биомасса фитопланктона существенно различается в зависимости от температуры воды — 2,8–38 г/м³ (Безносков, 1995; Материалы, 2017).

Зоопланктон Железногорского и Старооскольского водохранилищ очень разнообразен (80 видов) и имеет высокие показатели биомассы: в Старооскольском — 2,1 г/м³ в 2013 г.; 3 г/м³ в 2016 г. (Шмакова и др., 2014), в Железногорском — 2,3 г/м³ в 2013 г.; 2,1 г/м³ в 2017 г. (Материалы, 2017).

Зоопланктон Курчатовского водохранилища беднее по видовому составу (42 вида) и по количественному развитию (биомасса в 2000–2018 гг. — 0,1–0,5 г/м³ (Безносков и др., 2002; Материалы, 2017), по сравнению с Железногорским и Старооскольским водохранилищами.

Для Железногорского водохранилища характерны низкое видовое разнообразие пелофильных бентосных сообществ (доминант на всех станциях *Chironomus plumosus*) и высокие показатели биомассы: в 2017 г. — 4,5 г/м²; в 2018 г. — 2,5 г/м² (Материалы, 2017). На Старооскольском большее значение имеют Oligochaeta (*Limnodrilus hoffmeisteri*), Unionidae рода *Tumidiana* и *Cincinna piscinalis* (Valvatidae) со средневегетационной биомассой в 2013 г. — 2,2 г/м²; в 2016 г. — 4,0 г/м² (Шмакова и др., 2014).

В Курчатовском водохранилище из-за воздействия летальных для макрозообентоса температур воды в придонном горизонте ($t \geq 30^\circ\text{C}$ в течении июня-августа), бентосные сообщества угнетены и представлены лишь *Limnodrilus hoffmeisteri* и младшими возрастными группами *Dreissena polymorpha* с низкой средневегетационной биомассой: в 2015 г. — 1,2 г/м²; в 2018 г. — 0,02 г/м² (Материалы, 2017). В литорали водоема-охладителя наоборот формируются зооперифитонные и бентосные сообщества с высоким видовым разнообразием (105 видов) и более высокой биомассой — 2,23 г/м², где доминируют инвазивные Malacostraca — *Macrobrachium nipponense* (Безносков и др., 2002; Силина, 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ

За период наблюдений в сетных уловах на курских водохранилищах было зафиксировано 15 видов рыб. Наибольшее видовое разнообразие отмечалось в период проведения сетной съемки 2010 г. (11 видов) в Курчатовском водохранилище, а наименьшее количество видов зафиксировано в уловах осенью 2018 г. (3 вида) в Железногорском (табл. 2).

Высокая встречаемость в уловах мелкочастичных сетях во всех курских водохранилищах характерна для малоценных мелкочастичковых видов — густеры *Blicca bjorkna*, плотвы *Rutilus rutilus* и речного окуня *Perca fluviatilis*. За последние десять лет снизилась встречаемость серебряного

карася *Carassius gibelio*, доминирующего в уловах на первоначальном этапе исследований. Структура уловов мелкочастичных сетей в Железногорском и Старооскольском водохранилищах во многом схожа. Различия заключаются в меньшей встречаемости ерша *Gymnocephalus cernuus* и щуки *Esox lucius* в Старооскольском по сравнению с Железногорским водохранилищем.

Структура уловов в Курчатовском водохранилище, из-за повышенной термофикации вод, имеет большие отличия по сравнению с уловами из водохранилищ с естественным температурным режимом. В 1982 г. три четверти неводных уловов (75,7%) в нем составлял лещ *Abramis brama*. Существенное значение в тот период имели также плотва (12,5%) и окунь (7,3%). Судак *Sander lucioperca* уже тогда был обычным видом (2,9%), а встречаемость щуки, впоследствии практически исчезнувшей из ихтиофауны водоема-охладителя КуАЭС, составляла 1,9% (Мосияш, Саппо, 1989). В последние годы (2015–2018 гг.) более 80% всего улова в сетях с шагом ячеи 30–50 мм составляют малоценные мелкочастичковые виды — густера, плотва и речной окунь. В отличии от других курских водохранилищ, в Курчатовском выше доля судака и присутствует мозамбикская тилапия *Oreochromis mossambicus* (табл. 2).

В уловах крупноячеистых сетей на курских водохранилищах было зафиксировано десять видов рыб. Наибольшая встречаемость во всех водоемах была у леща и серебряного карася. В Курчатовском водохранилище в уловах обычен или многочислен судак, а в Железногорском — обычна щука (табл. 3).

Обловы литоральной зоны курских водохранилищ мальковой волокушей показали наличие в уловах 12 видов рыб. Во всех водохранилищах по встречаемости доминирует уклейка *Alburnus alburnus*, плотва, а также речной окунь (кроме Курчатовского). Обычными видами являются также младшие возрастные группы густеры, леща и серебряного карася. Характерным видом-индикатором

Таблица 2. Динамика структуры сетных уловов (шаг ячеи 30–50 мм) на курских водохранилищах за период наблюдений, % по встречаемости

Вид	Железногорское						Старооскольское			Курчатовское				
	2007	2008	2009	2013	2017	2018	2007	2008	2013	2009	2010	2011	2015	2018
Густера	21,3	8		67,7	27,7	3,3	8,2	8,3	21,6	23,6	3,7	3,6	48,1	46,5
Ёрш	20,3	5,5		0,4	4			2,1						
Карась серебряный	6,9	34,7	3,9	1,3			45,4	16,7		55	49,1	65,8		
Карась золотой							1,2							
Краснопёрка							7,2		2,3		2,5			
Лещ	19,5	34,7	22,4	4,8	3		14,7	20,8	15,5		4,6	17,1	8,3	1,5
Линь							0,7							
Окунь		0,3	4,6	5,5	2,2	43,3	1,9	47,9	9,8	3,1	16	3,6	12	10,6
Плотва	30,4	9,2	64,4	15,4	60,3	53,3	20		48,5		3,2	0,9	31,5	33,6
Сазан											0,8	0,9		
Сом											0,8			
Судак	1,6	2	2,2	1,4	2,2		0,7	4,2	2,3	18,3	18,1	8,1		7,8
Тилапия											0,5			
Уклейка		5,5	1,7								0,8			
Щука			0,7	3,5	0,6									
Всего:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Количество видов	6	8	7	8	7	3	9	6	6	4	11	7	4	5

ихтиоцены литорали является инвазивный для курских водохранилищ бычок-песочник *Neogobius fluviatilis*, который отсутствует в уловах на вазузских, москворецких и тульских водохранилищах (табл. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам ихтиологического мониторинга, литературным источникам и опросным сведениям в водохранилищах

Курской области в настоящее время обитает 30 видов, относящихся к девяти семействам лучеперых рыб. Наибольшее количество видов обитает в Курчатовском водохранилище (табл. 5).

Состав рыбного населения притоков верхнего течения рр. Сейма и Дона до зарегулирования их стока включал в себя преимущественно мелкие реофильные и широко распространенные эврибионтные виды, которые и вошли на первом этапе в ихтиофауну

Таблица 3. Динамика структуры уловов крупноячейных сетей (60–80 мм) на курских водохранилищах, % по встречаемости

Вид	Железногорское						Старооскольское			Курчатовское			
	2007	2008	2009	2013	2017	2018	2007	2008	2013	2009	2011	2015	2018
Густера					7,8	12,5				5,9			3,7
Карась	9	63	42	6,1		48,9	33	22,1	6,2	83	85,3	41,3	
Лещ	82	27	38	37,9	68,8	9,9	50	66,7	93,8	5,2	1,5	20,2	63,8
Окунь		5	20	6,1		6,3		5,6					4
Плотва													1,1
Сазан						12,5	17	5,6			4,3		
Сом											7,4		
Судак	9	5		43,8	15,6					5,9	1,5	38,5	21,8
Тилапия													5,6
Щука				6,1	7,8	9,9							
Всего:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Количество видов	3	4	3	5	4	6	3	4	2	4	5	3	6

Таблица 4. Структура уловов мальковой волокушей на курских водохранилищах

Вид	Железногорское			Старооскольское			Курчатовское		
	2013	2017	2018	2007	2008	2013	2011	2015	2018
Бычок-песочник	2,9	0,2			1,3			0,2	0,9
Голавль							0,3		0,9
Горчак									6,2
Густера		1,6	2,3	1,7	0,6	1,8	3,3	2,1	5,0
Ёрш	2,9		0,2						
Карась серебряный	2,9	2,3		3,2	5,7	1,2			
Краснопёрка				0,8	0,2				
Лещ	4,4	5,7	1,5	6,5	13,5	9,1	4,9	1,3	
Окунь	14,7	34,1	29,8	13,1	11,8	23,5			
Плотва	67,6	42,5	49,9	41,0	37,7	47,2	2,2	2,9	1,3
Судак	2,9								
Уклейка	2,9	13,6	16,3	33,7	29,2	17,2	89,3	93,5	85,7
Всего:	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Количество видов	8	7	6	7	8	6	5	5	6

Железногорского и Старооскольского водохранилищ.

Дальнейшее развитие экосистем курских водохранилищ протекало в относительно стабильных условиях пониженного водообмена и зарастания мелководий макрофитами, где процесс формирования их рыбного населения происходил в изоляции от миграционных путей рыб днепровского и донского речных бассейнов.

В данной группе водохранилищ сформировались ихтиоцены из видов бореально-равнинного и понтического пресноводного фаунистических комплексов. Прежде всего,

это многочисленные популяции экологически пластичных лимнофильных видов — плотвы, речного окуня, леща, густеры и уклейки.

Несколько иначе формировался состав аборигенной ихтиофауны Курчатовского водохранилища. Наполнение водой будущего водоема КуАЭС изолированного от гидрологической сети осуществлялось через насосы из р. Сейм. С закачиваемой водой в новый водоем попадала и ранняя молодь рыб. Эксплуатация Курчатовского водохранилища в режиме водоема-охладителя КуАЭС привела к формированию природно-техногенной экосистемы со специфическими

Таблица 5. Современный состав ихтиофауны водохранилищ Курской области

Семейства, виды рыб	Железногорское	Старооскольское	Курчатовское
СЕМЕЙСТВО ESOCIDAE – ЦУКОВЫЕ			
<i>Esox lucius</i> – обыкновенная щука	2	2	1
СЕМЕЙСТВО CYPRINIDAE – КАРПОВЫЕ			
<i>Abramis brama</i> – лещ	3	3	3
<i>Alburnus alburnus</i> – уклейка	3	3	3
<i>Aspius aspius</i> – обыкновенный жерех	1	1	1
<i>Blicca bjoerkna</i> – густера	3	3	3
<i>Carassius carassius</i> – золотой карась	1	2	1
<i>Carassius gibelio</i> – серебряный карась	3С	3С	3С
<i>Cyprinus carpio</i> – сазан	2	2	2
<i>Gobio gobio</i> – обыкновенный пескарь	1	1	1
<i>Leucaspis delineatus</i> – обыкновенная верховка	1	1	1
<i>Squalius cephalus</i> – голавль	1	1	2
<i>Leuciscus leuciscus</i> – обыкновенный елец	1	1	1
<i>Leuciscus idus</i> – язь	1	1	1
<i>Rutilus rutilus</i> – плотва	3	3	3
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> – красноперка	2	3	2
<i>Tinca tinca</i> – линь	2	2	1
<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> – пестрый толстолобик	1А	1А	1А
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> – белый толстолобик	1А	1А	2А

Таблица 5. Окончание

Семейства, виды рыб	Железнодорожное	Старооскольское	Курчатовское
<i>Stenopharyngodon idella</i> – белый амур	1А	1А	2А
<i>Mylopharyngodon piceus</i> – черный амур			2А
<i>Rhodeus sericeus</i> – горчак	2	2	2
СЕМЕЙСТВО COBITIDAE – ВЬЮНОВЫЕ			
<i>Cobitis taenia</i> – обыкновенная щиповка	2	2	1
СЕМЕЙСТВО BALITORIDAE – БАЛИТОРОВЫЕ			
<i>Barbatula barbatula</i> – усатый голец	1	1	
СЕМЕЙСТВО SILURIDAE – СОМОВЫЕ			
<i>Silurus glanis</i> – обыкновенный сом		1	2
СЕМЕЙСТВО PERCIDAE – ОКУНЕВЫЕ			
<i>Gymnocephalus cernuus</i> – обыкновенный ерш	3	2	1
<i>Perca fluviatilis</i> – речной окунь	3	3	3
<i>Sander lucioperca</i> – обыкновенный судак	3	2	3
СЕМЕЙСТВО ICTALURUDAE – ИКТАЛУРОВЫЕ			
<i>Ictalurus punctatus</i> – канальный сом			2А
СЕМЕЙСТВО CICHLIDAE – ЦИХЛОВЫЕ			
<i>Oreochromis mossambicus</i> – мозамбикская тилапия			2А
СЕМЕЙСТВО GOBIIDAE – БЫЧКОВЫЕ			
<i>Neogobius fluviatilis</i> – бычок – песочник	2С	2С	2С
Всего видов:	26	27	29

Примечание. 1 – редкий вид (встречаемость (N) <1%); 2 – обычный вид (встречаемость (N) 1–10%); 3 – многочисленный вид (встречаемость (N) 10 >%); А – акклиматизант; С – саморасселенец.

особенностями гидрологического и термического режима, влияние которых отразилось на процессе структурной перестройки рыбной части сообщества.

Увеличение разнообразия ихтиофауны Курчатовского водохранилища происходило в процессе акклиматизации ценных в рыбохозяйственном отношении гидробионтов. В целях биологической мелиорации и повышения рыбопродуктивности водоема-охладителя, в 80-е годы XX в. проводилось его регулярное зарыбление растительнояд-

ными видами рыб из китайского равнинного фаунистического комплекса, канальным сомиком *Ictalurus punctatus* и мозамбикской тилапией. Также были предприняты безуспешные попытки вселения в охладитель эвригалинного детритофага – пиленгаса *Liza haematocheilus* из Азово-Черноморского бассейна (Смирнов и др., 2002).

В таксономическом отношении, как и во всех водохранилищах Центральной России, в составе рыбного населения курских водохранилищ доминирующей группой

являются карповые рыбы. В ядро пелагического комплекса всех водохранилищ входит уклейка. Судак и речной окунь в данных водохранилищах эврибатны и в зависимости от сезона года распространены повсеместно в литорали, бентали и пелагиали.

В ядро бентического комплекса входят лещ, густера и плотва, в зарастающей гидрофитами литорали обычны щука (кроме Курчатовского водохранилища), краснопёрка *Scardinius erythrophthalmus* и линь *Tinca tinca*.

Из 32 видов рыб, чужеродных для ихтиофауны бассейнов рр. Днепра и Дона (Семенченко и др., 2014; Иванчев и др., 2013) в курских водохранилищах сформировали самовоспроизводящиеся популяции высокой численности только бычок-песочник и серебряный карась. Высокую численность в Курчатовском водохранилище до 2009 г. имела также мозамбикская тилапия (Быков и др., 2013).

Наибольшее количество интродуцентов обитает в водоеме-охладителе КуАЭС, где созданы благоприятные условия для обитания термофильных рыб — белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix*, пёстрого толстолобика *Hypophthalmichthys nobilis*, белого амура *Stenopharyngodon idella*, черного амура *Mylopharyngodon piceus*, канального сомика и мозабикской тилапии. Численность толстолобиков и амуров зависит от объемов и периодичности зарыблений, а канального сомика и тилапии от термического режима водоема-охладителя. За период наблюдений на Курчатовском водохранилище в наших уловах отсутствовали толстолобики и амур, несмотря на регулярное зарыбление этими видами. Возможно, это объясняется низкой эффективностью зарыблений, т.к. в водохранилище в последние годы выпускается преимущественно ранняя молодь этих видов (Быков и др., 2013).

Мозамбикская тилапия появилась в водоеме-охладителе Курской АЭС в 90-е годы XX в. после выпуска небольших партий рыб привезенных из садкового рыбхоза Смоленской АЭС. Благоприятный термический режим охладителя (особенно в зимний пери-

од) способствовал быстрой натурализации этого вселенца в новых условиях обитания. Ее территориальное поведение и агрессивность привели к снижению численности судака, плотвы, сазана и леща в начале XXI в. Негативное воздействие тилапии на ихтиофауну проявлялось в нерестовый период, когда она массово выедала раннюю молодь рыб-фитофилов. В условиях жесткой территориальной конкуренции с тилапией массовое развитие в водохранилище получили короткоцикловые термофильные виды рыб с порционным нерестом — уклейка, густера, серебряный карась, либо виды, охраняющие кладки икры и поедающие тилапию, такие как обыкновенный сом. Зимой 2008—2009 гг. при проведении ремонтных работ были отключены два энергоблока КуАЭС и объем теплых сбросных вод резко сократился, что привело к гибели практически всей популяции тилапии (Быков и др., 2013). В настоящее время, численность тилапии в Курчатовском водохранилище вновь возрастает и в уловах 2018 г. она была уже обычным видом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сходство состава ихтиофауны Железногорского и Старооскольского водохранилищ объясняется формированием структуры ихтиоценов этих водоемов в одинаковых условиях зарегулирования стока малых водотоков днепровского и донского бассейнов. Рыбное население Курчатовского водохранилища более разнообразно из-за наличия в нем термофильных интродуцентов появившихся в водоеме-охладителе КуАЭС в результате проведения акклиматизационных работ. На структуру ихтиоценов Курчатовского водохранилища влияет изменение термического режима водоема-охладителя КуАЭС. Установлено негативное влияние некоторых инвазивных видов (тилапия) на эффективность естественного воспроизводства аборигенных рыб Курчатовского водохранилища. В ядро ихтиоценов всех курских водохранилищ входят эврибионтные виды лимнофильной экологической группы, преимущественно из

семейства карповых (густера, лещ, плотва, уклейка и серебряный карась).

Благодарность:

Автор выражает глубокую благодарность главному инспектору Курского областного отдела Московско-Окского территориального управления Росрыболовства В.В. Егельскому, за помощь в сборе материала и содействие в проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 268 с.

Атлас пресноводных рыб России. Т. 2. / Под ред. Ю.С. Решетникова М.: Наука, 2002. 353 с.

Безносков В.Н. Ретроспективный анализ и характеристика современного состояния гидробиоценозов водоема-охладителя Курской АЭС и рек Сейм и Реут // Экология регионов атомных станций: Сб. статей. Вып. 2. М., 1995. С. 142–196.

Безносков В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.Л. Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС. // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 5. С. 610–615.

Быков А.Д., Митенков Ю.А., Меньшиков С.И. Динамика структуры рыбного населения водоема-охладителя Курской АЭС // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2013. № 8. С. 29–38.

Головина Н.А., Романова Н.Н., Головин П.П. Эколого-фаунистический анализ паразитов рыб Белгородского и Старооскольского водохранилищ // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 11 (260). С. 51–64.

Гончаров А.В. Сравнение водохранилищ Москворецко-Москворецкой водной системы по количественному развитию фитопланктона и степени эвтрофирования

// Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 1. С. 78–82.

Жарикова В.Ю., Ускова С.С., Краснова И.Ю., Горячев Д.В., Жариков К.В. Состояние запасов водных биоресурсов в водохранилищах Белгородской и Липецкой областей // Вестник рыбохозяйственной науки. 2014. Т. 1. № 3 (3). С. 3–8.

Иванчев В.П., Сарычев В.С., Иванчева Е.Ю. Миноги и рыбы бассейна Верхнего Дона // Труды Окского государственного природного биосферного заповедника. Вып. 28. Рязань: НП «Голос губернии». 2013. 275 с.

Лихачева Н.Е., Шидловская Н.А., Кучкина М.А. Фитопланктон водоема-охладителя Курской АЭС // Естественные и технические науки. 2011. № 1 (51). С. 62–63.

Материалы, обосновывающие объемы возможного вылова водных биоресурсов во внутренних водах Российской Федерации за исключением внутренних морских вод Российской Федерации на 2018 год. Т. IV (в двух книгах). Волжско-Каспийский рыбохозяйственный бассейн. Книга 1. Северный рыбохозяйственный район Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна. М.: ВНИРО, 2017. 330 с.

Мосяш С.С., Саппо Г.Б. Биологические показатели и численность промысловых видов рыб водоема-охладителя Курской АЭС // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 1989. Вып. 227. С. 80–88.

Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 265 с.

Семенченко В.П., Сон М.О., Новицкий Р.А., Квач Ю.В., Панов В.Е. Чужеродные макробеспозвоночные и рыбы в бассейне реки Днепр // Российский журнал биологических инвазий. 2014. Т. 7. № 4. С. 76–96.

Силина А.Е. Макрофауна беспозвоночных водоема-охладителя Курской АЭС // Современные проблемы зоологии и паразитологии. Материалы VIII Международной научной конференции «Чтения памяти проф. И.И. Барабаш-Никифорова» под ред. С.П. Гапонова; Воронежский государственный университет, 2016. С. 172–199.

Смирнов Б.П., Наволоцкий В.А., Сторожук Н.Г. Биологические обоснования на вселение дальневосточного акклиматизанта-пиленгаса в водоемы-охладители электростанций различного типа, расположенных в средней полосе европейской России // Экологическая физиология и биохимия рыб в аспекте продуктивности водоемов. Труды ВНИРО. 2002. Т. 141. С. 114–121.

Шмакова Э.И., Койдан Б.Н., Жарилова В.Ю. и др. Гидробиологический мониторинг водохранилищ Белгородской области (Белгородское и Старооскольское) // Вестник рыбохозяйственной науки. 2014. Т. 1. № 3 (3). С. 75–82.

Fishbase. Accessible via: <https://www.fishbase.se/search.php>. 02.04.2019

CURRENT STATE OF THE ICHTHYOFAUNA OF KURSK RESERVOIRS

© 2020 y. A. D. Bykov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

The results of many years of fisheries studies in reservoirs Kursk region provides information about the characteristics of hydrologic-hydrochemical regime, the structure of planktonic and benthic communities and modern composition of the fish fauna of Zheleznogorsk, Sary Oskol and Kurchatov reservoirs. The long-term dynamics of net catches and catches of small fry is shown. A change in the structure of net catches was found depending on the mesh step of the applied nets. The fish part of the community of this group of reservoirs is quite stable and is represented mainly by eurybiont species of the limnophilic ecological group. An assessment of the negative impact of tilapia on the ichthyofauna of the Kurchatov reservoir is given.

Key words: Zheleznogorsk, Sary Oskol, Kurchatov reservoir, the composition of ichthyofauna and the structure of catches.

ВИДОВОЙ СОСТАВ, ЧИСЛЕННОСТЬ И РОСТ СЕГОЛЕТОК РЫБ В МЕШИНСКОМ ЗАЛИВЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© 2020 г. В. А. Кузнецов, Ю. А. Северов*, В. В. Кузнецов, И. Р. Шакиров*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008

Татарский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии (ТатарстанНИРО), Казань, 420111

E-mail: objekt _ sveta@mail.ru

Поступила в редакцию 03.11.2018 г.

Рассмотрен видовой состав, численность и рост сеголеток рыб в летний период 2012, 2014 и 2017 гг. в прибрежье Мешинского залива Куйбышевского водохранилища в зависимости от гидрометеорологических условий. Установлено, что общее число видов в летний период в прибрежье равнялось 20. Среди них доминирующими видами были сеголетки тюльки в 2012 г. и уклейки в 2014 и 2017 гг. — порционнно-нерестующие виды. Наибольшее значение величины индекса видового разнообразия Шеннона отмечено в 2017 г. при высокой численности молоди и относительно низком значении показателя обилия. Урожайность молоди рыб определялась особенностями режима уровня и температуры воды. Рост сеголеток рыб в эти годы определялся продолжительностью вегетационного периода у леща и уклейки, а у тюльки длина и масса тела сеголеток зависела от численности в уловах ее особей от первого и второго нереста.

Ключевые слова: видовой состав, численность, рост, сеголетки рыб, водохранилище.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов прогнозирования состояния численности рыбных запасов в водоемах является оценка исходной численности рыб в период раннего онтогенеза. В Куйбышевском водохранилище основные места размножения рыб, где и производится оценка урожайности молоди рыб, находятся в крупных заливах, как наиболее благоприятных участках для размножения рыб. В Волжском и Волжско-Камском плесах — это Свяжский и Мешинский заливы. Если в Свяжском заливе подобные исследования велись с начала 60-х годов XX столетия (Булгакова, 1963; Кузнецов, 1978, 1998; Галанин и др., 2014), то в Мешинском заливе видовой состав, численность личинок и сеголеток рыб активно начали изучать только с 2012 г. (Северов и др., 2014; Кузнецов и др., 2017). Цель данного сообщения — оценка видовой

состава и численность сеголеток рыб в летний период, а также изучение роста молоди массовых видов рыб в зависимости от гидрометеорологических условий года.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собирали во второй и третьей декадах июля 2012, 2014 и 2017 гг. в прибрежной зоне Мешинского залива Куйбышевского водохранилища на 12 постоянных станциях.

Сбор молоди рыб осуществляли в соответствии с разработанной ранее методикой (Кузнецов, 1985). Отлов сеголеток рыб в прибрежье до глубины 2,0 м производили газовой волокушей длиной 6 м, высотой 1,7 м с ячеей в крыльях 3 мм и с кутком из технического сита. Численность сеголеток рыб пересчитывали как на 1 заброд длиной 30 м волокушей, так и на 1 м³ процеженной воды.

Сведения по уровенному и температурному режимам водохранилища приведены по данным Гидрометцентра Республики Татарстан. Продолжительность вегетационного периода рассчитывали с учетом температуры воды в 20 °С по методу Винберга (1956).

При анализе видового разнообразия сеголеток рыб использовали показатель видового обилия, который означал процент доминирования данного вида в общем улове, а также число видов и индекс видового разнообразия Шеннона (Жилюкас, Познанскене, 1985). Статистическая обработка материала проводилась по руководству Лакина (1990).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав и численность сеголеток рыб. Видовое разнообразие сеголеток рыб в июле 2012, 2014 и 2017 гг. и их численность в Мешинском заливе приведены в таблице 1. Приведенные данные свидетельствуют, что в исследованные годы общая урожайность сеголеток рыб наибольшей была в июле 2017 г., который отличался также более высоким показателем видового разнообразия, судя по значению индекса Шеннона, но меньшим значением показателя обилия и числа видов. Доминирующим видом в уловах по численности в 2012 г. была тюлька (71,5%), а в 2014 и 2017 гг. — уклейка (соответственно она составляла 69,8 и 56,9%).

Наибольшее число видов в уловах молоди отмечалось летом 2014 г. (17 видов). Однако за эти три года общее число видов в летних уловах составило 20. Среди них к малочисленным видам в этот период относились язь, елец и сазан, а также подкаменщик, занесенный в Красную книгу России и Республики Татарстан.

Кроме видов доминантов в уловах среди молоди заметную роль играли сеголетки леща — основного промыслового объекта Куйбышевского водохранилища, особенно в 2017 г. В этот год, среди ценных в промысловом отношении рыб, также встречались сеголетки судака — 11,1 экз./усилие и сазана 2,9 экз./усилие. Однако основу летних уло-

вов молоди в 2012 и 2014 гг. составляли сеголетки малоценных рыб (уклейка и тюлька) и лишь в июле 2017 г. заметную роль играла молодь серебряного карася.

Кроме тюльки, проникшей в водохранилище с юга, в уловах встречались и другие акклиматизанты, а именно черноморская игла-рыба, бычок-цуцик и бычок-кругляк. Эти виды были завезены в водоем в результате рыбоводных работ по расселению в водохранилище кормовых организмов из Волго-Донского региона.

Различия в видовом разнообразии и численности сеголеток рыб в отдельные годы было связано с особенностями в период размножения рыб режимов уровня и температуры воды. В мае 2012 г. уровень воды в среднем равнялся 53,7 м абсолютной отметки (при НПГ 53 м), а в 2014 и 2017 гг. всего 51,8 и 52,1 м, т.е. ниже отметок в летний период 2012 г. почти на 2 м.

Однако в 2012 г. общая численность (экз. на усилие) сеголеток рыб имела самую низкую величину (табл. 1). Вместе с тем многолетние данные по изучению общей численности рыб по водохранилищу показывали, что уровень воды являлся ведущим фактором для большинства видов рыб, определяющим их численность в прибрежье (Ильина, Гордеев, 1972; Цыплаков, 1974; Кузнецов, 1978). На размножение рыб уровень воды влияет не только путем высоких отметок, но и типом колебания. В 2012 г., высокая величина его средней абсолютной отметки в начале мая, в последующие месяцы постепенно снижалась, что сократило площадь мелководий. В 2014 г. в мае и июне наблюдалась прибывь воды, что более четко стало выражено в 2017 г., хотя средние абсолютные отметки уровня воды были ниже. Это способствовало более высокой эффективности размножения рыб в 2014 и 2017 гг.

Средняя температура воды в мае 2012 и 2014 гг. соответственно равнялась 14,0 и 14,5 °С, а в 2017 г. она составляла всего 9,0 °С. Это определило весной 2017 г. более растянутый нерест рыб при постепенной прибыви воды, что в свою очередь

ВИДОВОЙ СОСТАВ, ЧИСЛЕННОСТЬ И РОСТ СЕГОЛЕТОК РЫБ

Таблица 1. Видовой состав (%) и численность (А, экз. на усилии; Б, экз. на 1 м³) сеголеток рыб в июле 2012, 2014 и 2017 гг. в Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища

Вид	Годы наблюдений								
	2012 г.			2014 г.			2017 г.		
	%	А	Б	%	А	Б	%	А	Б
Язь <i>Leuciscus idus</i>	—	—	—	0,90	1,70	0,031	—	—	—
Елец <i>L. leuciscus</i>	—	—	—	—	—	—	0,10	0,30	0,003
Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	0,15	0,04	0,0006	0,20	0,30	0,002	0,60	9,60	0,050
Лещ <i>Abramis brama</i>	4,76	1,26	0,0070	2,80	5,10	0,034	16,40	286,03	1,610
Синец <i>A. ballerus</i>	0,15	0,04	0,0006	0,10	0,20	0,001	—	—	—
Белоглазка <i>A. sapa</i>	0,04	—	0,0006	—	—	—	—	—	—
Сазан <i>Cyprinus carpio</i>	—	—	—	—	—	—	0,20	2,90	0,020
Серебряный карась <i>Carassius auratus</i>	—	—	—	2,30	4,30	0,29	7,20	125,70	7,200
Густера <i>Blicca bjoerkna</i>	0,42	0,11	0,0006	—	—	—	1,60	28,40	0,160
Уклея <i>Alburnus alburnus</i>	19,62	5,19	0,0290	69,80	126,90	0,846	56,90	984,40	5,510
Чехонь <i>Pelecus cultratus</i>	—	—	—	0,10	0,20	0,001	—	—	—
Тюлька <i>Clupeonella cultriventris</i>	71,45	18,90	0,1050	19,10	34,70	0,231	16,30	283,60	1,570
Черноморская игла-рыба <i>Syngnatus nigrolineatus</i>	2,35	0,62	0,0034	2,00	3,60	0,024	0,50	8,80	0,050
Бычок-кругляк <i>Neogobius melanostomus</i>	—	—	—	0,10	0,20	0,001	0,10	0,90	0,001
Бычок-цуцик <i>Proterorhinus marmoratus</i>	0,80	0,21	0,0012	—	—	—	—	—	—
Подкаменщик обыкновенный <i>Cottus gobio</i>	—	—	—	0,001	0,10	0,007	—	—	—
Пескарь обыкновенный <i>Gobio gobio</i>	—	—	—	0,10	0,10	0,001	—	—	—
Судак <i>Sander lucioperca</i>	0,11	0,03	0,0006	1,60	3,00	0,020	0,60	11,10	0,060
Берш <i>S. volgensis</i>	—	—	—	0,20	0,30	0,001	—	—	—
Окунь <i>Perca fluviatilis</i>	0,11	0,03	0,0006	0,20	0,20	0,001	—	—	—
Ерш <i>Gymnocephalus serpius</i>	0,04	0,01	0,0006	0,20	0,20	0,001	—	—	—
Всего, экз.	100,0	26,45	1,1498	100,0	181,90	1,210	100,0	1742,0	9,734
Индекс Шеннона (H) бит.	1,31	—	—	1,50	—	—	1,84	—	—
Число видов	12	—	—	17	—	—	11	—	—

способствовало более поздним срокам икрометания порционным поздненерестующим рыбам (уклейка, тюлька) и относительно высокой эффективности их размножения. Урожайность сеголеток массовых видов рыб в 2017 г. в зависимости от режима уровня воды оказалась более успешной. Низкие отметки температуры воды в этот год способствовали также и постепенной зарастаемости мелководий вегетирующей растительностью. Следует отметить, что наиболее массовыми по численности были сеголетки порционно-нерестующих рыб (уклейки и тюльки). В 2017 г. также в отличие от 2012 и 2014 гг. была высокая урожайность серебряного карася (125,7 экз. на усилие).

Рост сеголеток. Показатели длины и массы тела уклеи, леща и тюльки — многочисленных в летних уловах сеголеток рыб приведены в таблицах 2 и 3.

Уклейка и тюлька — это порционно-нерестующие рыбы, а лещ — единовременно-нерестующий. Тюлька по способу размножения — пелагофил, а лещ и уклейка ближе стоят к фитофильной экологической группе. В условиях водохранилища они откладыва-

ют икру, как в прибрежье, так и на открытых биотопах (Кузнецов, 1978). Кроме того, тюлька проникла в водохранилище с юга и относится к более теплолюбивым видам, чем уклейка и лещ. Однако тюлька в Куйбышевском водохранилище характеризуется высоким уровнем флуктуации (Кузнецов, 1973).

Из данных таблиц 2 и 3 видно, что наибольшее значение средней длины и массы тела сеголеток уклеи и леща наблюдалось в 2012 г., а более низкие показатели этих величин были в 2017 г. У тюльки подобные показатели от этого имеют некоторые отличия. Минимальные средние величины длины и массы тела у нее были в 2012 г. Показатели роста сеголеток в значительной степени определялись продолжительностью вегетационного периода. У леща и уклеи кривые длины, тела сеголеток и продолжительность вегетационного периода изменялись синхронно, а у тюльки эта картина была несколько иная. В 2014 и 2017 гг. длина тела ее сеголеток была связана с продолжительностью вегетационного периода, а в 2012 г. подобная связь отсутствует. Следует отметить, что

Таблица 2. Показатели длины (мм) тела сеголеток уклеи, леща и тюльки в июле летом 2012, 2014 и 2017 гг. в Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища

Год	Вид	Показатели			
		Min – max	M ± m	Cv, %	n
2012	Уклейка	12,0–42,0	29,31 ± 0,84	27,0	90
	Лещ	28,0–48,0	38,13 ± 0,61	11,1	48
	Тюлька	12,0–25,0	18,20 ± 0,14	10,2	178
2014	Уклейка	10,0–34,0	20,43 ± 0,27	22,9	295
	Лещ	20,0–42,0	27,83 ± 0,88	22,7	51
	Тюлька	12,0–36,0	23,32 ± 0,31	17,6	186
2017	Уклейка	12,0–26,0	16,68 ± 0,30	22,8	161
	Лещ	20,0–36,0	25,47 ± 0,18	7,3	105
	Тюлька	10,0–30,0	19,40 ± 0,36	18,0	103

Таблица 3. Показатели массы (мг) тела сеголеток уклейки, леща и тюльки летом 2012, 2014 и 2017 гг. в Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища

Год	Вид	Показатели			
		Min – max	M ± m	Cv, %	n
2012	Уклейка	30,0–460,0	162,5 ± 10,1	43,7	50
	Лещ	500,0–1800,0	1071,6 ± 89,4	51,7	48
	Тюлька	10,0–130,0	63,4 ± 2,1	43,2	170
2014	Уклейка	80,0–600,0	155,0 ± 4,4	49,0	295
	Лещ	250,0–2225,0	512,5 ± 50,0	69,7	51
	Тюлька	100,0–370,0	194,2 ± 0,2	17,6	186
2017	Уклейка	10,0–240,0	80,6 ± 0,4	19,2	150
	Лещ	250,0–500,0	303,0 ± 12,4	41,1	105
	Тюлька	10,0–300,0	86,9 ± 6,4	74,8	103

общая продолжительность вегетационного периода с этапа D₂ в 2012 и 2017 гг. рассчитывалась до времени взятия проб, которые проводились в конце июля, а в 2014 г. только до середины месяца. Однако с учетом температуры воды при расчете по методу Винберга (1956) она составляла в 2012 г. – 74,2 сут., в 2014 г. – 55,9 сут. и в 2017 г. – 53,3 сут. Наиболее низкими температурами воды отличался 2017 г. Наличие низкого значения средней величины длины и массы тела тюльки в год с относительно высокой продолжительностью вегетационного периода, видимо, связано с тем, что в 2012 г. в уловах присутствовали в основном молодь только от второго позднего нереста. В уловах этого года сеголетки тюльки были с низкой массой тела 0,05–0,09 г, а в 2014 г. – 0,2–0,25 г, видимо, от первого и второго нереста. В 2017 г. доминировал класс 0,01–0,05 г, т.е. мелкие особи в основном позднего икротетания.

Таким образом, в уловах тюльки в 2012 г. присутствовали особи от позднего нереста, в 2014 г. – от первого и второго, а в 2017 г. – преимущественно от второго. В отличие от леща и уклейки тюлька начи-

нает откладку икры при температуре воды свыше 15,0°C (Кузнецов, 2006).

Таким образом, на средние показатели длины и массы тела тюльки оказывает воздействие не только продолжительность вегетационного периода, но и доля особей от первого и второго нереста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища в летний период 2012, 2014 и 2017 гг. в уловах молоди встречено 20 видов рыб. Доминирующим видом летом 2012 г. были сеголетки тюльки, а в 2014 и в 2017 гг. – уклейки. Общая численность молоди была выше всего в 2017 г. при наибольшем значении индекса видового разнообразия Шеннона и низком значении показателя обилия.

Различия в численности сеголеток в указанные годы связаны, прежде всего, с особенностями режима уровня и температуры воды. Несмотря на самые высокие отметки уровня воды в период размножения рыб в 2012 г., и постепенной убылью ее в мае,

эффективность размножения рыб в этот год была низкой. В 2014 и 2017 гг. при более низких значениях, и постепенной прибыли воды, урожайность молоди оказалась более высокой. Это связано также с тем, что в эти годы успешно размножались порционно-нерестующие рыбы (уклея, тюлька и серебряный карась). Однако ведущим фактором определяющим численность молоди, продолжает оставаться режим уровня воды.

Рост длины и массы тела молоди уклейки и леща в летний период в исследованные годы был тесно связан с продолжительностью вегетационного периода, а у тюльки он зависел как от его продолжительности, так и от наличия в уловах особей от первого и второго нереста. Если в уловах тюльки преобладала ее молодь от второго нереста, то средняя масса сеголеток была меньше, чем в случае наличия в уловах особей от первого срока размножения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Булгакова Э.И.* Распределение нерестилищ и молоди некоторых рыб в Свияжском заливе Куйбышевского водохранилища // Сб. аспирант. работ. Казань, 1963. С. 43–53.
- Винберг Г.Г.* Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1956. 250 с.
- Галанин И.Ф., Ананин А.И., Кузнецов В.А., Сергеев А.С.* Изменение видового состава и численности молоди рыб в верхней части Волжского плёса Куйбышевского водохранилища в период 1991–2009 гг. // Экология. 2014. № 4. С. 1–7.
- Жюликас В.Ю., Познанскене Д.А.* Таблицы для подсчета индекса видового разнообразия по Шеннону-Уиверу // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов. Ч. 5. Вильнюс: Ин-т зоологии и паразитологии АН ЛитССР, 1985. С. 130–136.
- Ильина Л.Г., Гордеев И.А.* Уровенный режим и воспроизводство рыбных запасов водохранилищ // Вопр. ихтиологии. 1972. Т. 12. Вып. 3. С. 411–421.
- Кузнецов В.А.* Особенности размножения и роста тюльки — нового компонента ихтиофауны Куйбышевского водохранилища // Биол. науки. 1973. № 6. С. 23–25.
- Кузнецов В.А.* Особенности воспроизводства рыб в условиях зарегулированного стока реки. Казань: Изд-во Казан ун-та, 1978. 160 с.
- Кузнецов В.А.* Количественный учет молоди рыб в водохранилищах и озерах // Типовые методики исследования продуктивности рыб в пределах их ареалов. Ч. 5. Вильнюс: Ин-т зоологии и паразитологии АН ЛитССР. 1985. С. 26–35.
- Кузнецов В.А.* Анализ колебаний численности личинок рыб в верхней части Куйбышевского водохранилища // Вопр. ихтиологии. 1998. Т. 38. № 1. С. 81–86.
- Кузнецов В.А.* Видовое разнообразие, численность и распределение молоди рыб на разрезе р. Волга — устье р. Свияги в Волжском плёсе Куйбышевского водохранилища // Уч. зап. казанск. ун-та. 2006. Т. 114. Кн. 3. С. 109–121.
- Кузнецов В.А., Северов Ю.А., Кузнецов В.В.* Видовое разнообразие и численность личинок рыб в прибрежной зоне Свияжского и Мешинского заливов Куйбышевского водохранилища // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18. № 1. С. 107–113.
- Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Северов Ю.А., Кузнецов В.А., Львов Д.В. и др.* Ихтиопланктон прибрежий Куйбышевского водохранилища в 2013 г. // Материалы междунар. конф. «Современное состояние биоресурсов внутренних вод». М.: Полиграф-Плюс. 2014. Т. 2. С. 515–520.
- Цыплаков Э.П.* Уровенный режим Куйбышевского водохранилища и его влияние на воспроизводство рыбных запасов // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов. Л.: ГосНИОРХ. 1974. Вып. 12. С. 37–42.

**SPECIFIC STRUCTURE, ABUNDANCE AND GROWTH FISH
FINGERLINGS IN THE SUMMER PERIOD IN THE MESHINSKY GULF
OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR**

© 2020 г. V. A. Kuznetsov, Yu. A. Severov*, V. V. Kuznetsov, I. R. Shakirov*

Kazan (Volga) federal university, Kazan, 420008

** Tatar Branch Russia Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kazan, 420111*

The specific structure, number and growth of fingerlings of fishes during the summer period 2012, 2014 and in a foreshore of the Meshinsky gulf of the Kuibyshev reservoir depending on hydro-meteorological conditions is examined 2017. It is established that total number of types during the summer period in a foreshore equaled 20. Among them fingerlings of a kilka in 2012 and bleak in 2014 and 2017 were the dominating types, i.e. it were a la portion-spawning species. The greatest value of size of an index of a specific variety of Shannon is noted in 2017 with a high number thresh also rather low value of an indicator of abundant. Productivity thresh fishes was defined by features of the mode of level and water temperature. Growth of fingerlings of fishes these years was defined by duration of the vegetative period at the bream and an bleak, and at a kilka length and body weight of fingerlings depended on number in the fish crop of its individuals from the first and second spawning.

Keywords: specific structure, number, growth, fingerlings of fishes, reservoir

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 639.3.07; 639.3.043.13

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МАССЫ И ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ
МОЛОДИ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) ПРИ ПЕРЕВОДЕ ИЗ ПРУДОВ
В ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ**

© 2020 г. А. А. Лютиков, А. Е. Королев

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга), Санкт-Петербург, 199053

E-mail: tokmo@mail.ru

Поступила в редакцию 26.03.2020 г.

Представлены результаты исследований по определению оптимальной массы и плотности посадки молоди прудового судака для перевода в промышленные условия выращивания. Показано, что личинки средней массой 116 мг лучше адаптированы к переводу из прудов в бассейны на искусственные корма, чем молодь массой 627 мг. В обоих случаях сеголетки достигали массы 1 г на 25–31 сут., однако молодь с меньшей начальной массой имела при этом более высокие показатели выживаемости (до 69% против 20–40%), роста (среднесуточный прирост 7,3–8,4% против 2,6%) и плотности посадки (до 12,0 экз./л против 3,2 экз./л). Снижение плотности посадки до 2,3 экз./л и ее повышение до 12,0 экз./л определяло более быстрый рост молоди в бассейнах в первые недели выращивания, чем при плотности 8,6 экз./л, что косвенно указывает на более раннюю адаптацию молоди к новым условиям содержания и переход на искусственную диету. Выживаемость судака также была выше при пониженной (2,3 экз./л) и повышенной (12,0 экз./л) плотности выращивания – 69 и 45%, соответственно, против 37% при плотности посадки 8,6 экз./л. Результаты выращивания судака при плотности посадки 12,0 экз./л характеризовались наибольшей рыбопродукцией – 6 г/л, что на 31–67% больше, чем в других вариантах эксперимента. Применение живого корма (науплии артемии) позволило улучшить адаптивные свойства прудовой молоди в период ее перевода в промышленные условия и повысить ее выживаемость до 37%, против 23% по сравнению с одновременным переводом судака на монодиеты из искусственного корма (при одинаковой плотности посадки 8,6 экз./л). Физиологический анализ выращенных комбинированным (прудовым и промышленным) способом сеголеток судака указывает на сходство морфофизиологических, биохимических и гематологических показателей с прудовой молодь, что говорит как о полноценности самой рыбы, так и соответствии условий выращивания потребностям молоди судака, включая корма и режимы кормления.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, аквакультура, молодь, пруды, промышленные технологии, бассейны, искусственный корм.

ВВЕДЕНИЕ

Судак *Sander lucioperca* – ценный промысловый вид и перспективный объект аквакультуры, технология промышленного культивирования которого к настоящему времени до конца не разработана. Наиболее уязвимым местом биотехники искусственно выращивания судака является этап подра

щивания личинок до трехнедельного возраста с начала потребления пищи, что усугубляется отсутствием на рынке специализированных стартовых искусственных кормов. Исследования, проведенные различными авторами по кормлению личинок судака только искусственными стартовыми кормами, не принесли желаемого результата – смерт-

ность в первые 2–3 недели выращивания приближалась к 100% (по: Королев, 2005), что позволило сделать заключение об ограниченных пищеварительных возможностях ранних личинок судака по отношению к искусственным кормам (Mani-Ponset et al., 1994; Nyina-wamwiza, 2005).

Данное предположение было сформулировано не только на основании отрицательного опыта кормления личинок с первых дней питания монодиетами из искусственного корма, но и на основе представлений о формировании пищеварительной системы судака на личиночном этапе развития. Как и у других рыб с мелкой икрой желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) предличинок судака после вылупления массой 0,3–0,5 мг имеет вид прямой недифференцированной трубки. Спустя 3–4 сут. после вылупления с началом потребления внешней пищи у личинок происходит расширение переднего отдела кишечной трубки. Спустя две недели (масса 7–8 мг) в переднем участке ЖКТ формируется петля, что соответствует началу оформления желудка как отдельного органа. Подобные морфофизиологические и функциональные изменения сопровождаются увеличением количества пищеварительных желез, функционирование которых наблюдается через 10 сут. (Ostaszewska, 2005), т.е. при массе около 40–60 мг.

Примерно через 30–35 сут. после вылупления при массе около 150 мг происходит дифференциация желудка на отделы, появляются зачатки пилорических придатков, начинается секреция пепсина (Hamza et al., 2007). Это дает основание полагать, что пищеварительная система молоди указанной массы позволяет адекватно реагировать на потребленный искусственный корм.

Современные исследования по выращиванию судака с использованием живых кормов (прудовые и индустриальные технологии), направлены на изучение возможности раннего отлучения личинок от питания дорогостоящими фито- и зоопланктонными организмами. Основной акцент при этом делается на такие важные рыбоводные по-

казатели как масса молоди и плотность посадки.

Считается, что ключевым фактором, определяющим уровень адаптации молоди судака к искусственному корму, является ее начальный размер (Zakęś, 1999). До недавнего времени начальная масса судаков, используемых для перевода на искусственные корма, как правило, составляла примерно 400 мг и более (Baer et al., 2001; Zienert, 2003). В последнее время в литературных источниках все чаще встречаются материалы, согласно которым начальная масса молоди, отлучаемой от естественного корма, не превышает 200 мг (Хубенова и др., 2014; Hubenova et al., 2015). Собственные исследования по переводу судака из прудов в индустриальные условия также показали возможность успешного перевода молоди на искусственные корма при массе около 140 мг (Лютиков, Королев, 2019).

Не менее важным критерием при адаптации судака к искусственным диетам является определение оптимальной плотности посадки. При массе судака 140–200 мг хорошие результаты были получены при плотности выращивания рыб, равной 6–7 экз./л (Hubenova et al., 2015; Лютиков, Королев, 2019), в то же время было показано, что увеличение плотности до 12 экз./л не приводит к снижению показателей роста и выживаемости (Хубенова и др., 2014).

Таким образом, при переводе молоди судака с естественного корма на искусственный, актуальным направлением усовершенствования технологии выращивания комбинированным (прудовым и индустриальным) методом являются исследования, направленные на более раннее отлучение молоди от живого корма при увеличении плотности посадки выращиваемой рыбы.

В связи с этим целью настоящих исследований было определение оптимальной минимальной средней массы и плотности посадки подрощенной в прудах молоди судака для перевода в индустриальные условия. Для осуществления поставленной цели были определены задачи, в которые входило выра-

щивание судака с момента начала потребления внешней пищи по прудовой технологии до массы приблизительно 100 мг и разработка экспериментальных диет для перевода подрощенной молоди с прудового зоопланктона на искусственные корма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описание технологии подготовки производителей судака, получения и инкубации икры, получения и выдерживания предличинок, их перевозки, прудовых условий выращивания, а также облова и перевозки молоди в индустриальные условия, подробно приведено в ранее опубликованной работе (Лютиков, Королев, 2019).

В 2019 г. подращивание личинок судака комбинированным способом осуществляли в два этапа: на первом этапе — в прудах крестьянского хозяйства К. А. Аверченкова (Приозерский район Ленинградской области) на естественном корме и на втором этапе — в индустриальных условиях на научно-

производственной базе ООО «Форват» (оз. Суходольское, Приозерский район, Ленинградская обл.).

Первый облов прудов проводили 16 июня. Было поймано 2004 экз. судака средней индивидуальной длиной $20,9 \pm 0,2$ мм и массой $116,4 \pm 3,5$ мг. Время транспортировки молоди из прудового хозяйства до ООО «Форват» составило 2 ч 20 мин, за это время погибло 4,5% личинок. Молодь была рассажена в пять экспериментальных бассейнов №№1–5 объемом 65 л (при фактическом объеме воды около 50 л) с различной плотностью посадки. Режимы кормления личинок массой 116,4 мг в бассейнах представлены в таблице 1. В бассейне №1 молодь сразу стали кормить только искусственным кормом. В бассейнах №№2–5 искусственный корм чередовали с добавлением науплий артемии — 5 раз в сутки.

Молодь кормили кормом экспериментальной рецептуры ГосНИОРХ, содержащим среди основных компонентов рыбную и мясную муку, гаприн, сухой белок яйца, фосфолипиды, рыбий жир, физиологи-

Таблица 1. Схема кормления молоди судака с начальной средней массой 116,4 мг с 16.06 по 17.07.2019 г.

Бассейн, №	1	2	3	4	5
Плотность посадки, экз./басс.	430	430	430	114	600
Плотность посадки, экз./л	8,6	8,6	8,6	2,3	12,0
Режим кормления					
Время суток, ч	с 17.06. и далее		с 17 по 24.06., далее только искусственный корм		
8–9	Сухой корм		Сухой корм		
10			Артемия		
11–12			Сухой корм		
13			Артемия		
14–15			Сухой корм		
16			Артемия		
17–18			Сухой корм		
19			Артемия		
20–21			Сухой корм		
22			Артемия		

чески активные добавки (Остроумова и др., 2018). Экспериментальный корм молодь судака получала во всех вариантах опыта с начала исследования, кроме молоди в бассейне №2, где рацион судака состоял из экспериментального корма с добавлением крилевого аттрактанта. Начиная с 28.06.2019 г. в бассейнах №№3–5 экспериментальный корм был заменен на коммерческий корм «Биомар». Пищевая ценность экспериментального корма составляла: белок 56%, жир 13%, углеводы 11%. Корма «Биомар», согласно проспекту производителя, имели следующую питательную ценность: Иницио Плюс Джи (0,4 мм), содержание протеина — 60%, жира — 10%; Иницио Плюс-901 (0,5 мм), содержание протеина — 57%, жира — 18%, и предназначены для выращивания молоди лососевых рыб.

При проведении второго облова прудов (11 июля) было отловлено 320 судаков средней массой $627,0 \pm 35,8$ мг, которые были доставлены в промышленные условия без погибших особей и поровну рассажены в два экспериментальных бассейна №№7

и 8 при плотности 160 экз./бассейн, или 3,2 экз./л. (табл. 2). Учитывая относительно крупные размеры, судака сразу переводили на искусственный корм фирмы «Биомар» с размером гранул — 0,4–0,5 мм. Личинок кормили вручную через каждый час с 8 до 22 ч.

Помимо комбинированного способа, выращивание молоди проводили полностью в промышленных условиях. Для этих целей в два аппарата ВНИИПРХ объемом 120 л (№№1 и 2) было посажено в общей сложности 19,2 тыс. предличинок (80 экз./л) массой 0,4 мг. В аппарате №1 личинок кормили с 8 до 12 ч через каждый час искусственным кормом, далее поочередно науплиями артемии и искусственным кормом. В аппарате №2 в качестве корма использовали только науплии артемии, которую подавали каждые 1,5 ч с 8 до 22 ч. В первые две недели корма давали с избытком — 10–20% от массы выращиваемых рыб, далее суточная норма кормления была снижена до 5–7%.

Подробная схема эксперимента по комбинированной и промышленной техно-

Таблица 2. Схема проведения исследований по комбинированной и промышленной технологии выращивания судака в 2019 г.

Операция (мероприятие)	Количество прудов/ емкостей, шт.	Средняя масса молоди при посадке, мг	Плотность посадки, тыс. экз./га (тыс. экз./м ³)	Плотность посадки, экз./бассейн (экз./аппарат)	Количество посадочного материала, экз.
Комбинированная технология					
Выращивание молоди в прудах	2	0,4	21,0	-	150000
Выращивание в бассейнах	5	116,4	(2,3–12,0)	114–600	2004
	2	627,0	(3,2)	160	320
Промышленная технология					
Выращивание в аппаратах ВНИИПРХ	2	0,4	(80,0)	(9600)	19200
Выращивание в бассейнах	1	153,0	(1,8)	128	128

логиям выращивания судака в 2019 г. приведена в таблице 2.

Бассейны чистили от фекалий и остатков не потребленного корма один раз в сутки после последнего кормления. Условия содержания и выращивания молоди судака в бассейнах соответствовали оптимальным — проточность составляла 0,04–0,05 л/с, освещенность над поверхностью воды в бассейнах в течение светового дня — от 15 до 94 Лк, содержание растворенного в воде кислорода находилось в пределах 7,7–8,2 мг/дм³ с насыщением 85–91%, воду в выростных емкостях подогревали до 20–22 °С.

Темп роста молоди (среднесуточный прирост) определяли еженедельно по данным контрольных обловов (по 10 экз.) по уравнению Винберга (1957). По окончании эксперимента отбирались пробы на биохимические (50–70 экз. в пробе), гематологические (10 экз. в пробе) и морфофизиологические исследования (по 30 экз. в пробе) выращенных рыб. Методика обработки проб и аналитические работы описаны нами ранее (Лютиков, Королёв, 2019). Для статистической обработки полученных результатов использовали пакет прикладной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты экспериментального выращивания прудовой молоди судака со

средней массой 116,4 мг в индустриальных условиях при различных плотностях посадки и режимах кормления.

С первых суток кормления в индустриальных условиях молодь интересовалась искусственным кормом, однако факта захвата гранул нами отмечено не было. Анализ совокупной пробы (50 экз.) погибших на 4-е сут. эксперимента особей из пяти бассейнов показал, что 29% судаков не питались, у 24% в желудочно-кишечном тракте были искусственные корма вместе с науплиями артемии и 47% потребляли только живой корм.

Наиболее быстро к новым условиям выращивания и режиму кормления адаптировалась молодь из бассейна №4 с наименьшей плотностью посадки (2,3 экз./л) и наличием в рационе как живого, так и искусственного корма. Средняя масса таких личинок в первые 10 сут. выращивания в эксперименте была самой высокой (табл. 3). Личинки в этом варианте опыта сохраняли высокий темп роста на протяжении всего периода наблюдений при низкой смертности.

Молодь судака, сразу переведенная на искусственную диету (вариант опыта №1), в первые 7 сут. не потребляла корм и теряла в весе. По итогам первой декады личинки из бассейна №1 характеризовались наименьшей индивидуальной массой. Повышенная по сравнению с другими вариантами опыта смертность рыб объясняется проявлением в этот период каннибализма, который

Таблица 3. Результаты выращивания молоди судака в индустриальных условиях от подращенной в прудах молоди со средней массой 116,4 мг

Дата:	Плотность, экз./л	16.06.	26.06.	03.07.	10.07.	17.07.	Среднесуточный прирост, %	Выживаемость, %	Ихтиомасса, г/л
Бассейн, №	Средняя масса молоди, г								
1	8,6	0,116	0,133	0,410	0,822	1,562	8,4	23	3,1
2	8,6		0,163	0,204	0,604	0,944	6,8	32	2,6
3	8,6		0,159	0,333	0,862	1,305	7,8	37	4,2
4	2,3		0,196	0,372	0,682	1,246	7,7	69	2,0
5	12,0		0,164	0,362	0,673	1,113	7,3	45	6,0

снижился с переходом молоди на искусственный корм. Адаптация личинок к искусственному корму способствовала повышению их темпа роста. По итогам выращивания такая молодь имела наибольшую среднюю массу (1,562 г) при наименьшей выживаемости (23%).

Вариант опыта №2 с испытанием крилевого аттрактанта по темпу роста показал результаты хуже, чем в других вариантах, а по выживанию — хуже, чем в вариантах с аналогичной схемой кормления, но без использования добавки, повышающей привлекательность кормов (№№3–5). По всей видимости, плохие результаты связаны с низким качеством аттрактанта, который в целом неудовлетворительно отразился на качестве корма.

Выращивание судака при высокой плотности посадки, равной 12 экз./л (вариант опыта №5), позволило получить лучшую выживаемость, чем при 8,6 экз./л (вариант опыта №3), и самую большую общую массу выращенных рыб в эксперименте.

Анализ смертности молоди показывает, что во всех вариантах экспериментального выращивания повышенная гибель отмечалась в первые две недели, от 80% (всех погибших рыб за весь период выращивания) в варианте №3, до 95% в варианте №1. Гибель существенно снизилась после достижения молодь средней массы 300 мг и более. Это связано как с адаптацией молоди к новым условиям содержания, режимам кормления и кормам, так и сокращением случаев каннибализма. Исключением стал вариант №2 (корм с крилевым аттрактантом), в ко-

тором смертность молоди была высокой на протяжении всего эксперимента.

Результаты экспериментального выращивания прудовой молоди судака со средней массой 627 мг в промышленных условиях.

Перевод подроженных в прудах судаков в промышленные условия сразу на искусственные диеты показал, что в первые 20 сут. молодь голодала и теряла в весе. Особенно сильно уменьшение средней массы тела рыб проявилось в первую неделю — 21,4% от начальной массы (табл. 4).

Начало потребления корма частью молоди и прибавка в весе отмечены на 10–14 сут. Полная адаптация к искусственному корму произошла только после 20 сут. выращивания, однако часть рыб так и не перешла на предлагаемые диеты, что способствовало появлению в обоих бассейнах двух размерных групп (отрицательный эксцесс): крупных судаков, полностью перешедших на искусственный корм, со средней массой, соответственно, 1,74 г, численность которых составила 29,2% (бассейн №7), и 1,64 г — 56,5% (бассейн №8) и мелких, не перешедших на питание искусственным кормом, средняя масса которых составила, соответственно, в бассейне №7—0,357 г, в бассейне №8—0,444 г. К 28–30 сут. эксперимента судаки достигли средней массы 1 г при крайне высоком показателе коэффициента вариации (C_v) — 43,2%.

Смертность судака с начальной средней массой 627 мг в первые три недели эксперимента была существенно ниже, чем в последующий аналогичный период, и составила

Таблица 4. Результаты перевода подроженной в прудах молоди судака с начальной средней массой 0,627 г на искусственные корма

Дата:	11.07.	17.07.	24.07.	31.07.	07.08.	14.08.	24.08.	Средне-суточный прирост, %	Выживаемость, %
Бассейн, №	Средняя масса молоди, г								
7	0,627	0,498	0,525	0,618	0,760	1,720	3,740	4,1	20,0
8		0,493	0,486	0,609	1,238	2,235	3,630	4,1	40,6

Таблица 5. Результаты выращивания молоди судака с начальной средней массой 0,153 г, подрощенной в индустриальных условиях

Дата:	11.07.	17.07.	24.07.	31.07.	07.08.	Среднесуточный прирост, %	Выживаемость, %
Бассейн, №	Средняя масса молоди, г						
6	0,153	0,302	0,528	0,969	1,511	8,8	90

в среднем 13%, против 57%. Высокий процент смертности во второй половине наблюдений был связан с гибелью мелких истощенных особей, не питавшихся искусственным кормом. Оставшаяся молодь в бассейне №7 достигла средней массы $3,74 \pm 0,18$ г ($Cv=12,3$) и длины $6,58 \pm 0,10$ см ($Cv=14,2$). В бассейне №8, соответственно — $3,63 \pm 0,17$ г ($Cv=33,5$) и длины — $6,63 \pm 0,10$ см ($Cv=11,2$). Смертность мелких особей привела к уменьшению показателя коэффициента вариации массы рыб, однако в бассейне №8 он оставался на высоком уровне.

Индустриальный способ выращивания

Подращивание личинок судака после вылупления искусственным кормом в сочетании с живым (аппарат №1) позволило получить молодь средней массой $68,0 \pm 4,0$ мг ($Cv=23,3\%$) на 21 сут. Личинки, получавшие исключительно живой корм (аппарат №2), росли значительно лучше и за тот же период достигли средней массы $153,0 \pm 0,4$ мг ($Cv=22,8\%$). Выживание во всех вариантах опыта было крайне низким, основная смертность личинок — 64,1%, пришлось на первые 20 сут. выращивания. Кроме того значительная смертность молоди отмечалась, когда на стенках аппаратов и личинках были обнаружены паразитические рачки рода *Argulus*.

По достижении подрощенными на живом корме личинками средней массы 153 мг (всего 128 экз.) их дальнейший перевод на искусственную диету осуществляли в круглом пластиковом бассейне. При пересадки личинок из аппаратов в бассейн погибло 37 экз. Дальнейшее выращивание судака в бассейне проводилось при плотности посадки 1,8 экз./л. Результаты эксперимента представлены в таблице 5.

Молодь, подрощенная по индустриальной технологии, при переводе на искусственные корма демонстрировала высокий темп роста в первые три недели эксперимента, еженедельно увеличивая массу на 75–100%. При отсутствии необходимости в адаптации к новым условиям содержания, хорошей обеспеченностью кормом и низкой плотности посадки, молодь судака достигла массы 1 г за 19 сут. при показателе среднесуточного прироста 9,1%. К 27 сут. средняя масса молоди превысила 1,5 г (табл. 5). Смертность молоди в первые три недели эксперимента, т.е. до достижения массы 1 г, не превышала 10%.

Сравнительные показатели роста молоди судака в индустриальных условиях и в прудах

Судак, выращенный по комбинированной технологии в прудах до средней массы 116 мг, а затем в индустриальных условиях до 1,23 г, был пересажен 18 июля 2019 г. (возраст — 61 сут.) в квадратный бассейн 1×1 м² с уровнем воды 0,45 м и плотностью посадки 1,6 экз./л (всего 742 экз.). К 24 августа средняя масса рыб составила $5,9 \pm 0,21$ г при длине $8,01 \pm 0,09$ см и выживаемости 98%. Судак в прудах достигли схожих размеров лишь к середине октября (см. рис. 1). Их средняя масса и длина равнялась $4,8 \pm 0,13$ г и $7,6 \pm 0,07$ см. Коэффициент упитанности у выращенных в прудах и индустриальных условиях сеголеток судака был примерно одинаков — 1,08 и 1,15 г, соответственно.

Анализ физиологического состояния выращенной молоди судака

Физиологическое состояние культивируемой молоди рыб оценивали на основании анализа морфофизиологических, биохимических

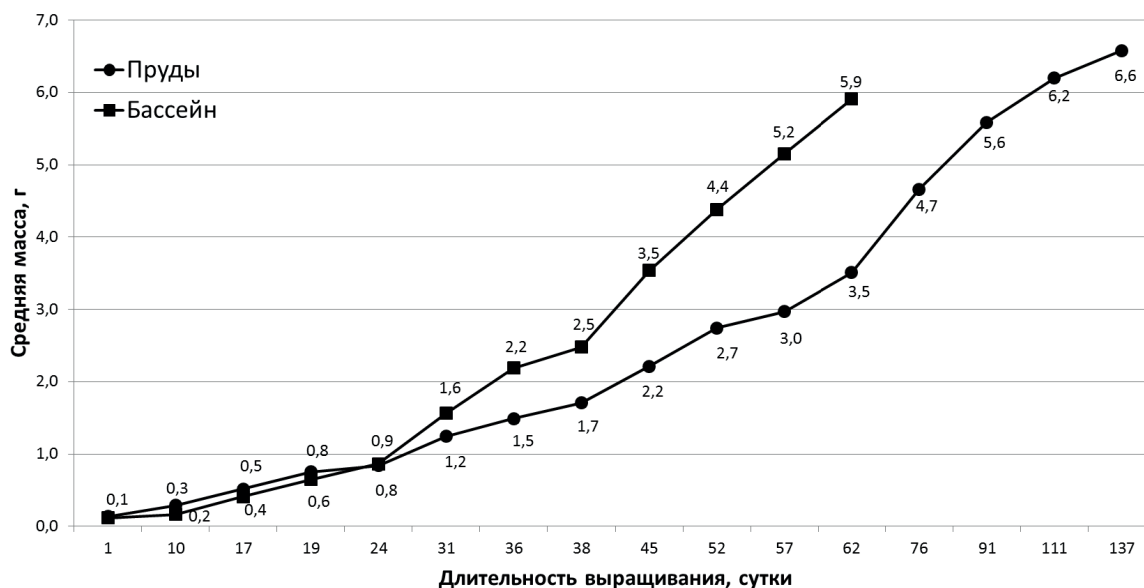


Рис. 1. Рост молоди судака с начальной массой 120–140 мг в прудах и промышленных условиях.

мических и гематологических показателей. Результаты анализа приведены в таблицах №№ 6, 7 и 8, соответственно. Для этих целей использовали молодь судака разного возраста, выращенную в прудах на естественной кормовой базе и комбинированным способом.

Для оценки морфофизиологических показателей были отобраны приблизительно одноразмерные особи судака из прудов и бассейнов. При схожей массе длина переведенных на искусственные корма рыб уступала таковой у прудовой молоди на 14% (табл. 6). Коэффициенты упитанности и индекса печени были выше у судаков, выращенных

в бассейнах, что связано с использованием высококалорийных искусственных кормов и хорошей обеспеченностью рыб пищей по сравнению с прудовой молодь. Вариабельность исследованных признаков выращенного по комбинированной технологии судака, была также существенно выше, чем у прудовой молоди. Это можно объяснить длительным периодом адаптации рыб к новым условиям выращивания и не одновременным ее переходом с живой пищи на искусственные корма.

Биохимические показатели сеголеток судака массой от 0,6 до 3,6 г из различных условий выращивания имеют близкие

Таблица 6. Морфофизиологические показатели молоди судака, выращенной в прудах и комбинированным (прудовые и промышленные условия) способом

Технология выращивания	AD, см *	Cv, %	m, г	Cv, %	Индекс печени, % *	Ky (Ф), % *
Прудовая	<u>5,2±0,04</u> 4,9–5,5	3,2	<u>1,23±0,04</u> 1,02–1,52	12,8	<u>1,0±0,1</u> 0,6–1,8	<u>0,89±0,01</u> 0,8–1,0
Комбинированная	<u>4,5±0,17</u> 3,7–5,3	12,1	<u>1,18±0,14</u> 0,48–1,85	39,0	<u>2,2±0,1</u> 1,6–2,7	<u>1,18±0,03</u> 0,9–1,3

Примечание: здесь и далее — над чертой приведены среднее значение признака и его ошибка, под чертой — пределы варьирования признака; * — различия признака статистически достоверны при $p \leq 0,05$.

Таблица 7. Химический состав тела молоди судака, выращенной в прудах и комбинированным способом

Возраст, сут.	Масса, г	Влажность, %	Содержание в сырой массе			
			белок, %	жир, %	зола, %	витамин С, мкг/г
Прудовая технология (лето)						
30	0,1	85,92	9,79	1,83	2,25	70,27
49	0,6	78,90	12,23	3,22	3,16	82,02
Прудовая технология (осень)						
145	4,8	78,80	13,47	2,53	3,41	23,47
152	1,2	81,18	12,55	1,80	3,91	21,93
Комбинированная технология						
47	1,2	77,02	16,21	4,12	2,84	44,60
68	3,6	72,13	15,85	7,41	2,98	45,47

значения, за исключением более высоких показателей жира и белка, и низкого содержания витамина С (табл. 7) в теле молоди, переведенной в искусственные условия. Подобные различия биохимических параметров определяются питательной ценностью пищи. Качество корма также отражается на биохимическом составе тела в процессе роста судака. В частности, жир повышается с 4,12% (в сырой массе) до 7,41% у рыб массой 1,2 и 3,6 г, что связано с возрастанием жирности кормов, применяемых по мере роста рыб. Также у этих рыб наблюдается снижение влаги в теле с 77,02 до 72,13%.

Анализ прудовых сеголеток показывает, что судаки со средней массой около 0,1 г характеризуются низким содержанием белка, жира и золы, которое повышается у мальков массой 0,6 г на 20,43 и 29%, соответственно, а также высокой влажностью — 85,92% у личинок и 78,90% у подрожденной молоди. Это может быть вызвано как физиологическими изменениями, связанными с переходом от личиночного к мальковому этапу развития судака (окаменение скелета, появление чешуи и др.), так и со сменой его рациона. К осени у прудовой молоди также происходят изменения биохимического состава тела — наблюдается снижение жира и витамина С (табл. 7), что может указывать

на голодание рыб. Низкий уровень жира — 1,0–1,9%, в теле прудовых сеголеток судака отмечают и другие авторы (Jankowska et al., 2003; Schulz et al., 2006).

Морфологическая картина клеток красной и белой крови молоди судака из индустриальных условий и прудов, а также сравнение полученных результатов с материалами прошлых лет и литературными данными указывает на сходство исследуемых показателей (табл. 8). Подобные результаты могут свидетельствовать об отсутствии патологических явлений в организме сеголеток судака и быть принятыми за предварительную норму.

Существенные различия в проценте незрелых эритроцитов у судака, выращенного комбинированным и прудовым способом, могут быть связаны с различиями в температурном и кислородном режимах в прудах и индустриальных условиях, а также с различными размерами сравниваемых рыб, что требует дополнительных исследований.

По мере роста гематологическая картина крови судака изменяется (табл. 8). Происходит снижение уровня лимфоцитов и незрелых эритроцитов (из 200 шт.), и увеличение моноцитов и лейкоцитов (из 500 эритроцитов). Полиморфноядерные лейкоциты, которые не были определены у судака до мас-

Таблица 8. Морфология клеток красной и белой крови у сеголеток судака из эксперимента 2019 г.

Технология выращивания (масса, г)	Лимфоциты, %	Полиморфно-ядерные лейкоциты, %	Моноциты, %	Кол-во лейкоцитов из 500 эритроцитов, шт.	% незрелых эритроцитов из 200 шт.
Прудовая (0,5)	$99,3 \pm 0,4$ 96–100	0	$0,7 \pm 0,4$ 0–4	$5,1 \pm 1,1$ ** 1–12	$5,1 \pm 0,7$ * 2,5–10,5
Комбинированная (0,8)	$99,1 \pm 0,3$ 98–100	0	$0,9 \pm 0,3$ 0–2	$8,6 \pm 0,8$ ** 8–17	$15,9 \pm 2,1$ * 7,5–27,5
Показатели крови судака, переведенного из прудов в индустриальные условия, по мере роста					
Комбинированная (3,2)	$98,6 \pm 0,3$ 97–100	0	$1,4 \pm 0,3$ 0–3	$8,6 \pm 0,6$ 5–11	$9,4 \pm 1,3$ 2,0–14,5
Комбинированная (4,6)	$96,8 \pm 0,7$ 93–100	$0,4 \pm 0,2$ 0–1	$2,8 \pm 0,7$ 0–6	$12,8 \pm 0,9$ 8–18	$6,6 \pm 0,7$ 3–9

Примечание: * – различия статистически достоверны при $p \leq 0,05$, ** – при $p \leq 0,01$.

сы 3,2 г включительно, появляются у молоди массой 4,6 г в количестве 0,4%. Наши данные согласуются с литературными, согласно которым полиморфноядерные лейкоциты встречаются в количестве около 0,05% у судака массой до 1,4 г, и увеличивали свое значение до 0,6% у молоди массой более 3,6 г (Голодец, 1954). Остальные показатели крови судака, выращенного комбинированным способом, согласуются с таковыми у судака массой от 0,6 до 5,8 г выращенного в НВХ, чьи средние параметры выглядят следующим образом – лимфоциты – $98,1 \pm 0,6\%$, моноциты – $1,6 \pm 0,2\%$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов по переводу судаков со средней массой 116–627 мг с естественной пищи на искусственные диеты указывает на возможность более раннего отлучения молоди от живых кормов. В экспериментах на личинках средней массой 116 мг во всех вариантах опытного выращивания судак достиг 1 г в схожие сроки – на 25–31-е сут. Это соответствует периоду достижения указанной навески для молоди, переведенной на искусственные корма со средней массы 627 мг, только при более высоких показателях выживаемости (до 69% против

20–40%), роста (среднесуточный прирост 7,3–8,4% против 2,6%) и плотностях посадки (до 12,0 экз./л против 3,2 экз./л). Однако при сравнении результатов выращивания судаков разной стартовой массы, необходимо учитывать, что в отличие от более мелкой молоди, судаки массой 627 мг в период адаптации к индустриальным условиям не получали живые корма, так как науплии артемии являются слишком мелкими для молоди такой навески.

Снижение плотности посадки личинок судака средней массой 116 мг до 2,3 экз./л (бассейн №4), а также ее повышение до 12,0 экз./л (бассейн №5), оказало положительный эффект – молодь раньше перешла на искусственный корм, что выразилось в более быстром наборе массы в первые недели перевода в новые условия, чем при плотности 8,6 экз./л (бассейн №3). Итоговая выживаемость молоди также имела большее значение при пониженной и повышенной плотности выращивания – 69 и 45%, против 37% при плотности посадки 8,6 экз./л. Кроме того, вариант опыта №5 с плотностью выращивания молоди 12,0 экз./л, по итогам эксперимента характеризовался наибольшей рыбопродукцией – 6 г/л, что на 31–67% больше, чем в других вариантах опыта.

Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов (Zakeś, 1997; Szkudlarek, Zakeś, 2002; Molnar et al., 2004a; Policar et al., 2013), которые также обнаруживают, что повышение плотности посадки в определенных пределах не снижает рыболовные показатели судака при переходе на искусственные диеты. Однако в указанных работах средняя начальная масса рыб при смене рационов находилась в диапазоне 0,4–0,9 г. Исключением являются исследования Т. Хубеновой с соавторами (2014), в которых для перевода на искусственный корм авторы использовали молодь средней массой 0,18 г с плотностью посадки 12 экз./л. Выживаемость судака при таких условиях выращивания составляла 53–56%. В целом, на выживаемость судака в районе 50% в период адаптации к искусственному корму указывают и другие авторы, (Zakeś, 1999; Szkudlarek, Zakeś, 2002; Ljunggren et al., 2003; Molnar et al., 2004a; Molnar et al., 2004b; Baranek et al., 2007).

Применение живого корма (науплии артемии) в наших исследованиях позволило улучшить адаптивные свойства прудовой молодки в период ее перевода в промышленные условия при одинаковой плотности посадки (8,6 экз./л) и повысить ее выживаемость до

37%, против 23% по сравнению с единовременным переводом судака на монодиеты из искусственного корма.

Подращивание личинок судака с использованием науплий артемии полностью по промышленной технологии до массы 153 мг в последующем позволяет избежать высокой смертности молоди при ее отлучении от живого корма и адаптации к искусственным диетам. До массы 1 г такая рыба растет 19 сут. при выживаемости 90%. Однако стоит обратить внимание, что перевод «промышленной» молоди на искусственный корм осуществляли при самой низкой плотности посадки в эксперименте — 1,8 экз./л.

В целом, результаты настоящей работы согласуются с материалами наших прошлых исследований (Лютиков, Королев, 2019), в которых было установлено, что молодка судака массой 136 мг лучше адаптируется к искусственному корму и выращиванию в бассейнах, чем более крупные особи массой 300–550 мг (табл. 9).

Сравнительный анализ результатов исследований за 2018–2019 гг., приведенных в таблице 9, показывает, что молодка судака имеет повышенные адаптивные свойства к смене условий выращивания и рационов (с естественной на искусственную диету)

Таблица 9. Сводные результаты исследований по переводу молодки с естественной на искусственную диету в 2018 и 2019 гг.

Год	Начальная масса, мг	Ср. температура воды, °С	Плотность посадки экз./л	Период выращивания до 1 г	Ср. сут. пр., %	Выживаемость, %	<i>m</i> общ., г
Перевод подрощенной в прудах молодки судака							
2019	116	21	2,3–12,0	31	6,8–8,4	23–69	98–300
2018	136	17,5 (15–21)	6,7	35	6,3–6,5	49–69	215–312
2018	312	19,0 (17–22)	10,6	24	6,1	29	193
2018	533		2,0	17–19	5,2	64	110
2019	627	21	3,2	27	4,1	20–41	120–236
Перевод подрощенной на науплиях артемии в промышленных условиях молодки судака							
2019	153	21	1,8	19	9,7	90	78

при средней массе 116–136 мг, по сравнению с более крупной молодью, массой от 312 до 627 мг. Примечательно, что схожие результаты по росту и выживаемости переводимой с естественной на искусственную пищу судака были достигнуты как на естественном температурном режиме, так и с подогревом воды. В последнем случае наблюдалось закономерное увеличение темпа роста выращиваемых рыб (см. табл. 9), при этом повышение температуры воды не существенно отразилось на сроках начала потребления искусственного корма — 5 сут. при 15–16 °С, 4 сут. при 21 °С.

Сравнение роста подрошенной молоди судака от 116 мг и выше в прудах и промышленных условиях показало преимущество промышленного метода. В заводских условиях судак от 0,116 до 5,9 г вырос за 62 сут. при выживаемости 98%, в пруду — за 91 сут. (выживаемость не оценивалась). Достоинства промышленной технологии общеизвестны, — это возможность полностью контролировать рыбоводный процесс и использовать современные сбалансированные высококалорийные корма в необходимом объеме. В пруду, напротив, кормовая база ограничена и приходит в депрессивное состояние к середине-концу июля по причине выедания зоопланктона и зообентоса молодью, а также массового вылета имаго насекомых, что сдерживает рост сеголеток судака (Королев, 1984). Голодание, смена кормовых организмов и, вероятно, изменение их питательной ценности в процессе развития, негативно отражается на биохимическом составе судака, что в первую очередь выражается в снижении витамина С и жира в теле сеголеток (см. табл. 7).

В общих чертах большинство исследуемых морфофизиологических, биохимических и гематологических параметров переведенного на искусственные корма судака имеют схожее значение с аналогичными показателями у прудовой молоди, что говорит о физиологической полноценности выращенных рыб. Относительно высокое содержание жира в теле промышленной молоди, как

и в случае с лучшей упитанностью и увеличенной печенью, связано, в первую очередь, как с жирностью искусственных диет, так и с большим количеством насыщенных липидов в корме. Относительно низкое значение витамина С у судака переведенного на искусственные диеты, по сравнению с прудовой молодью, вероятно, можно считать нормой, т.к. за период выращивания рыб от 1 до 3,6 г смертность составила менее 2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты опытного перевода молоди судака с разной начальной массой с живого корма (пруд) на искусственные диеты (бассейны) указывают на перспективность использования в качестве посадочного материала рыб средней массой 0,12 г. Такая молодь характеризуется лучшим ростом и выживаемостью, по сравнению с более крупным судаком, массой около 0,6 г. Последующее выращивание судака в промышленных условиях позволяет получить лучшие результаты, чем культивирование одновозрастной молоди в прудах. Период достижения массы 6 г при бассейновом выращивании сокращается на 32% по сравнению с прудовым, при выживаемости, близкой к 100%.

Перспективным направлением выращивания посадочного материала судака средней массой 1 г может стать биотехнология ее выращивания от личинок в промышленных, полностью контролируемых условиях. При такой технологии молоди не требуется адаптация к бассейновым условиям выращивания. Отлученный от живого корма судак массой 0,15 г достигает 1 г за 19 сут. с высоким показателем выживаемости, равным 90%. Однако подобная биотехнология требует проведения дополнительных исследований, направленных, в первую очередь, на определение оптимальных условий содержания и кормления ранних личинок судака.

Физиологический анализ выращенных комбинированным (прудовым и промышленным) способом сеголеток судака ука-

зывает на сходство морфофизиологических, биохимических и гематологических показателей с прудовой молодью. Это говорит как о полноценности самой рыбы, так и соответствии условий выращивания потребностям молоди судака, включая корма и режимы кормления.

ВЫВОДЫ

1. Судак, выращенный в прудах до средней массы 116 мг, обладает лучшими адаптивными свойствами при переводе в индустриальные условия, чем более крупная молодь средней массой 627 мг.

2. Использование живых кормов (науплий артемии) в период отлучения судака от живого корма, продолжающегося 10 сут., повышает выживаемость молоди на 38%.

3. Увеличение плотности посадки судака средней массой 116 мг с 8,6 до 12,0 экз./л повышает выживаемость молоди на 18%, а ее снижение до 2,3 экз./л — на 46%.

4. Использование индустриальной технологии для подрачивания личинок судака до 153 мг позволяет избежать адапционного периода при переводе их на искусственный корм, а набор массы молодью до 1 г происходит на 19-е сут. выращивания при выживаемости 90%.

5. Культивирование подрощенного от 0,12 г судака в индустриальных условиях позволяет сократить срок его выращивания до 6 г на 32% в сравнении с выращиванием сеголеток в прудах.

6. Большинство морфофизиологических, биохимических и гематологических показателей выращенной комбинированным (прудовым и бассейновым) способом молоди судака сопоставимы с таковыми у одновозрастных рыб, выращенных в прудах.

Благодарности

Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Бер-

га) А. К. Шуминой и Т. А. Филатовой за помощь в проведении биохимического и гематологического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Белорусский гос. ун-т, 1956. 251 с.

Голодец Г. Г. Состав крови выращиваемой молоди осетра, леща и судака // Вопр. ихтиологии. 1954. Вып. 2. С. 114–119.

Королев А. Е. Энергетический баланс и рационы молоди судака и пеляди при их совместном выращивании в пруду // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1984. Т. 222. С. 21–30.

Королев А. Е. Опыт применения искусственных кормов при подрачивании личинок судака // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2005. Вып. 333. С. 287–316.

Лютиков А. А., Королев А. Е. Опыт перевода молоди судака (*Sander lucioperca*) с естественной пищи на искусственный корм // Вопр. рыболовства. 2019. Т. 20. №4. С. 468–481.

Остроумова И. Н., Костюничев В. В., Лютиков А. А. и др. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (*Coregonidae*) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов // Там же. 2018. Т. 19. №1. С. 82–98.

Хубенова Т., Зайков А., Кацаров Е., Терзинский Д. Влияние на гъстота на помудката върху нарастването и оцеляемостта на бялата риба (*Sander lucioperca* L.) през периода на преход от естествена храна към гранулиран фураж // Селскопанска академия, Животновъдни науки, 2014. Т. 51. №4. С. 36–40.

Baer J., Zienert S., Wedekind H. Neue Erkenntnisse zur Umstellung von Natur auf Trockenfutter bei der Aufzucht von Zandern (*Sander lucioperca* L.) // Fischer und Teichwirt. 2001. V. 7. P. 243–244.

Baránek V., Dvořák J., Kalenda V., Mareš J., Zrůstová J., Spurný P. Comparison of two weaning methods of juvenile pikeperch *Sander lucioperca* from natural diet to commer-

cial feed // The Conference Mendel Net'07. 2007. 45 p.

Hamza N., Mhetli M., Kestemont P. Effects of weaning age and diets on ontogeny of digestive activities and structures of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae // Fish Physiol Biochem. 2007. V. 33. P. 121–133.

Hubenova T., Zaikov A., Katsarov E., Terziyski D. Weaning of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca* L.) from life food to artificial diet // Bulgarian J. Agricultural Science, 21 (Supplement 1), Agricultural Academy. 2015. P. 17–20.

Jankowska B., Zakes Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. A comparison of selected quality features of the tissue and slaughter field of wild and cultivated pikeperch *Sander lucioperca* (L.) // Eur. Food Res. Technol. 2003. V. 217. P. 401–405.

Ljunggren L., Staffan F., Falk S., Linden B., Mendes J. Weaning of juvenile pikeperch, *Stizostedion lucioperca* L., and perch, *Perca fluviatilis* L., to formulated feed // Aquacult. Res. 2003. V. 34. P. 281–287.

Mani-Ponset L., Diaz J.P., Schlumberger O., Connes R. Development of yolk complex, liver and anterior intestine in pike-perch larvae, *Stizostedion lucioperca* (Percidae), according to the first diet during rearing // Aquat. Living. Resour. 1994. V. 7. P. 191–202

Molnár T., Hancz Cs., Molnár M., Horn P. The effects of diet and stocking density on the growth and behaviour of pond pre-reared pikeperch under intensive conditions // J. Appl. Ichthyol. 2004a. V. 20. P. 105–109.

Molnár T., Hancz Cs., Bódis M., Müller T., Bercsényi M., Horn P. The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions // Aquacult. Internat. 2004 b. V. 12. P. 181–189.

Nyina-wamwiza L., Xu X., Blanchard G., Kestemont P. Effect of dietary protein, lipid and carbo-hydrate ratio on growth, feed efficiency and body composition of pikeperch *Sander lucioperca* fingerlings // Aquacult. Res. 2005. V. 36. P. 486–492.

Ostaszewska T. Developmental changes of digestive system structures in pike-perch (*Sander lucioperca* L.) // Electronic journal of ichthyology. 2005. V. 2. P. 65–78.

Policar T., Stejskal V., Kristan J., Podhorec P., Svinger V., Blaha M. The effect of fish size and stocking density on the weaning success of pond-cultured pikeperch *Sander lucioperca* L. juveniles // Aquacult. Int. 2013. V. 21. P. 869–882.

Schulz C., Günther S., Wirth M., Rennert B. Growth performance and body composition of pike perch (*Sander lucioperca*) fed varying formulated and natural diets // Aquacult. Int. 2006. V. 14. P. 577–586.

Szkudlarek M., Zakęś Z. The effect of stock density on the effectiveness of rearing pikeperch *Sander lucioperca* (L.) summer fry // Arch. Pol. Fish. 2002. V. 10. P. 115–119.

Zakęś Z. Effect of stock density on the survival, cannibalism and growth of summer fry of European pikeperch (*Stizostedion lucioperca* L.) fed artificial diets in controlled conditions // Arch. Pol. Fish. 1997. V. 5. P. 305–311.

Zakęś Z. The effect of body size and water temperature on the results of intensive rearing of pike-perch, *Stizostedion lucioperca* (L.) fry under controlled conditions // Arch. Pol. Fish. 1999. V. 7. P. 187–199.

Zienert S. Ergebnisse bei der Aufzucht von Zandern // Fischer und Teichwirt. 2003. V. 8. P. 296–298.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL WEIGHT AND DENSITY OF JUVENILE PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) AFTER TRANSFER FROM POND TO INDUSTRIAL CONDITIONS

© 2020 y. A. A. Lyutikov, A. E. Korolev

*L. S. Berg State Research Institute for Lake and River Fisheries,
Saint-Petersburg, 199053*

The work presents the results of studies to determine the optimal weight and stocking density of juvenile pikeperch during transfer from pond to industrial growing conditions. It is shown that larvae with an average weight of 116 mg are better adapted to transfer from ponds to pools for artificial feed than juveniles weighing 627 mg. In both cases, pikeperch fingerlings reached the weight of 1 g in 25–31 days, but pikeperch juveniles with a lower weight had higher survival rates (up to 69% vs. 20–40%), growth (average daily increase of 7,3–8,4% vs. 2,6%) and stocking density (up to 12,0 individuals per liter vs. 3,2 individuals per liter). The decrease of stocking density to 2,3 individuals per liter and its increase to 12,0 individuals per liter determined a faster growth of juveniles in the pools in the first weeks of rearing than at a stocking density of 8,6 individuals per liter, which indirectly indicates an earlier adaptation of juveniles to new conditions and the transition to an artificial diet. The survival rate of pikeperch was also higher with a reduced (2,3 individuals per liter) and increased (12,0 individuals per liter) growing density – 69 and 45%, respectively, against 37% with the stocking density of 8,6 individuals per liter. The results of pikeperch rearing at the stocking density of 12,0 individuals per liter were characterized by the highest fish productivity – 6 g/l, which is 31–67% more than in other versions of the experiment. The use of live feed (*Artemia Nauplius*) allowed to improve the adaptive properties of pond juveniles during their transfer to industrial conditions and increase their survival rate to 37%, against 23% compared to a one-time transfer of pikeperch to mono diets from artificial feed (with the same stocking density of 8,6 individuals per liter). The physiological analysis of pikeperch fingerlings grown in a combined (pond and industrial) way indicates the similarity of morphophysiological, biochemical and hematological parameters with pond juveniles, which indicates both the usefulness of the fish itself and the growing conditions for the needs of pike perch juveniles, including feed and feeding regimes.

Keywords: pikeperch, *Sander lucioperca*, aquaculture, juveniles, ponds, industrial technologies, pools, artificial feed.

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 597.423

**ОЦЕНКА ПРОМЫСЛОВОГО ВОЗВРАТА АМУРСКОГО ОСЕТРА
ACIPENSER SCHRENCKII (ACIPENSERIDAE) ОТ МОЛОДИ
ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА**

© 2020 г. В. Н. Кошелев¹, Л. А. Зыков²

1 – Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ХабаровскНИРО), Хабаровск, 680000

2 – Астраханский филиал Казахстанского института экологического проектирования,
г. Астрахань, 414041
E-mail: scn74@mail.ru

Поступила в редакцию 09.09.2019

На основе модели, описывающей изменение численности поколений рыб в течение жизненного цикла, рассчитаны запасы и промысловый возврат, получаемый от молоди амурского осетра. Дана оценка эффективности его заводского воспроизводства по сравнению с осетровыми Волго-Каспийского бассейна. Исследовано влияние периодичности нереста и промысловой смертности на образующиеся от молоди запасы и получаемые уловы.

Ключевые слова: амурский осетр, *Acipenser schrenckii*, популяция, искусственное воспроизводство, численность, биомасса, запасы, промысловый возврат.

ВВЕДЕНИЕ

В бассейне и лимане Амура, а также в прибрежных водах Охотского и Японского морей обитают три вида осетровых (Acipenseridae): калуга *Huso dauricus* (Georgi, 1775), амурский *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 и сахалинский осётр *A. mikadoi* Hilgendorf, 1892. Наиболее многочисленным из этих трех видов в уловах всегда был амурский осётр. Его вылов в 1891 г. составил 610 т, или 21,2% уловов промысловых жилых рыб Амура (Крюков, 1894). Снижение уловов осетра в первой половине XX в. привело к введению запрета на его промысел в 1958 г. В связи с неудовлетворительным состоянием популяции осетра, в последние 20 лет Россия осуществляет его искусственное воспроизводство (Хованский, Антипова, 2008; Кошелев и др., 2009; Кошелев, 2010) целью которого является восстановление исторической численности. В настоящее время на Амуре функционируют два осетровых рыбо-

водных завода (ОРЗ) – Владимирский (в 975 км от устья реки), введенный в строй в 2009 г. и Анюйский (750 км), работающий с 2007 г. Выпуск молоди амурского осетра в 1998–2018 гг. находился на уровне 0,015–2,189 млн экз. в год, составляя в среднем 0,885 млн экз.

Искусственное воспроизводство амурского осетра, а также калуги на Амуре в настоящее время развивается без серьезного научного обоснования. В литературе отсутствуют данные о необходимых объемах выращивания этих видов, экологически обоснованных местах выпуска молоди и оптимального расположения ОРЗ. Данные о промысловом возврате от выращиваемой молоди сильно варьируют, носят экспертный характер и представлены в литературе без расчетов (Крыхтин, 1972, 1979; Крыхтин, Горбач, 1994).

Целью нашей работы было определение промыслового возврата амурского осетра от искусственно выращиваемой молоди на

основе современных методов расчета этого показателя.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования выполнены на основе ихтиологических материалов по росту, половому созреванию, продолжительности жизни, размерному и возрастному составу амурского осетра, собранных сотрудниками ХабаровскНИРО и литературным данным (Пробатов, 1935; Свирский, 1967).

Численность поколений амурского осетра, образующихся от молоди искусственного воспроизводства при заданных значениях коэффициентах промысловой и естественной смертности, рассчитывали с помощью модели, описывающей изменение численности поколений рыб в течение жизненного цикла (Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2019; Зыкова и др., 2013; Zыkov etc., 2018, 2019):

$$N_t = R_{0,5}(1-v_{m_1}-v_{f_1})(1-v_{m_2}-v_{f_2})(1-v_{m_t}-v_{f_t}), (1)$$

где N_t — численность поколения осетра в возрасте t ; $R_{0,5}$ — начальная численность поколения в возрасте сеголетка; $v_{m_1}, v_{m_2} \dots v_{m_t}, v_{f_1}, v_{f_2} \dots v_{f_t}$ — действительные коэффициенты годичной естественной и промысловой смертности отдельных возрастных групп.

Данная модель апробирована на каспийских осетровых и лососевых рыбах — белуге *H. huso*, русском осетре *A. gueldenstaedtii*, шипе *A. nudiventris*, каспийской севрюге *A. stellatus*, ниже-волжской стерляди *A. ruthenus*, каспийском лососе — кумже *Salmo trutta aralensis* и белорыбице *Stenodus leucichthys leucichthys* (Зыков, 2005, 2008, 2011; Зыков и др., 2013, 2015, 2017, 2019; Зыкова и др., 2013; Zыkov etc., 2018, 2019).

При проведении исследований предполагалось, что в соответствии с требованиями рационального рыболовства (Тюрин, 1962, 1967, 1972, 1974) промысел амурского осетра будет вестись в р. Амур и базироваться на добыче впервые созревающих и половозрелых рыб.

Понятия входящих в уравнении численности (1) действительных коэффициентов годичной естественной v_{m_t} , промысловой v_{f_t} и общей смертности v_{z_t} определяли исходя из соотношений (Борисов, Залесских, 1980; Зыков, 2005; Зыков и др., 2019; Зыкова и др., 2013):

$$v_{m_t} = \frac{n_{m_t}}{N_t} \quad (2),$$

$$v_{f_t} = \frac{n_{f_t}}{N_t} \quad (3),$$

$$v_{z_t} = \frac{n_{m_t} + n_{f_t}}{N_t} = \frac{n_{z_t}}{N_t} \quad (4),$$

где n_{m_t} — число особей поколения в возрасте t , погибающих в течение года от действия естественных причин; n_{f_t} — число особей поколения в возрасте t , попавших в годовой улов (включая официальный, неучтенный и браконьерский вылов); n_{z_t} — общее количество рыб возраста t , погибающих в течение года от воздействия промысла и естественных причин.

По образу жизни амурский осетр является потамодромным видом, нагул которого происходит в водах Амура и Амурского лимана с соленостью до 20‰ (Кошелев, 2010). С осени по весну следующего года он совершает нерестовые миграции (Кошелев, 2013). Вместе с идущими на нерест производителями вверх по реке также мигрируют неполовозрелые и пропускающие нерест особи. В смешанном стаде, в условиях речного промысла, сложно отделить рыб, различающихся степенью зрелости половых продуктов, поэтому в наших исследованиях, в соответствии с требованиями рационального рыболовства (Тюрин, 1962, 1967, 1972, 1974) было принято, что промыслом изымается только половозрелая часть популяции, с незначительным приловом неполовозрелых рыб, достигших размеров полового созревания.

Численность особей поколений, образующих промысловый запас, рассчитывали по формуле:

$$n_{F_i} = N_i \chi \quad (5),$$

где χ — доля особей поколения, входящих в промысловый запас.

В расчетах было принято, что промысловый запас включает всех половозрелых особей, нерестовое стадо, пропускающих нерест производителей и часть неполовозрелых рыб, достигших размеров полового созревания. Численность особей поколений осетра n_{ρ_i} , образующих половозрелого стада, рассчитывали по формуле:

$$n_{\rho_i} = N_i \gamma \quad (6),$$

где γ — доля особей поколений, достигших половой зрелости (определяется по левой части кривых улова нерестового стада), (Зыков, 2005).

Количество производителей возраста t , входящих в состав нерестового стада, рассчитывали по формуле:

$$n_{n_i} = \frac{n_{\rho_i}}{\tau} \quad (7),$$

где τ — показатель периодичности нереста производителей: при $\tau = 1$ нерест ежегодный, при $\tau = 2$ происходит один раз в два года, при $\tau = 3$ — один раз в три года и т.д.

Как следует из выражений (6), (7), между численностью поколения нерестового стада n_{n_i} и его общей численностью N_i сохраняется соотношение:

$$n_{n_i} = \frac{\gamma}{\tau} N_i \quad (8),$$

Помимо коэффициентов промысловой смертности популяции v_{f_i} (3) в наших расчетах использовалось понятие коэффициента промысловой смертности промыслового стада v_{F_i} значения, которого рассчитывали как:

$$v_{F_i} = \frac{n_{f_i}}{n_{F_i}} \quad (9),$$

Из выражений (3) и (9) следует, что коэффициенты v_{F_i} и v_{f_i} связаны между собой соотношением:

$$v_{F_i} = v_{f_i} \frac{n_{F_i}}{N_i} \quad (10).$$

Под промысловым возвратом понимали улов N_f , получаемый от поколения в течение периода промысловой эксплуатации (Державин, 1922; Черфас, 1950; Зыков, 2005; Зыков и др., 2019):

$$N_f = \sum_{t_f}^{T_f} n_{f_i} \quad (11),$$

где t_f и T_f — возраст начала и окончания периода промысловой эксплуатации поколения.

Коэффициент промыслового возврата K_f рассчитывали как отношение улова N_f к начальной численности поколения $R_{0,5}$ в возрасте сеголетка (Державин, 1922; Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2017):

$$K_f = \frac{N_f}{R_{0,5}} \quad (12),$$

Число особей популяции N_m , погибающих в течение года от действия естественных причин, рассчитывали исходя из соотношения (2) по формулам:

$$n_{m_i} = N_i v_{m_i} \quad (13),$$

$$N_m = \sum_{t_o}^{T_o} n_{m_i} \quad (14),$$

где t_o — возраст первой возрастной группы;

Таким же способом рассчитывали годичную общую убыль популяции N_z , представляющую собой сумму годичных промысловых и естественных потерь особей поколений разных возрастов:

$$N_z = \sum_{t_o}^{T_o} (n_{m_i} + n_{f_i}) = N_m + N_f \quad (15),$$

Вместе с показателями промыслового возврата, в наших исследованиях, для сравнительного изучения абсолютной возрастной структуры, а также биологической и промысловой продуктивности образующихся от молодежи популяций, использовали понятие «условной популяции», которая формируется от пополнения $R_{0,5} = 1,0$ млн экз. сеголетков (Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2019):

$$N = \sum_{t_o}^T N_i \quad (16).$$

Коэффициенты естественной смертности особей поколений v_{m_i} , входящие в модель численности (1), рассчитывали с помощью уравнения, описывающего изменение их значений в течение жизненного цикла в зависимости от возраста рыб (Максименко, Антонов, 2002; Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2019; Зыкова, 1993; Зыкова и др., 2013; Zykov etc., 2018, 2019):

$$v_{m_i} = 1 - At^k(T^k - t^k), \quad (17),$$

где A, k, T^k — константы.

Константы A, k, T^k уравнения естественной смертности (2) рассчитывали исходя из значений констант уравнений линейного и весового роста степенного типа (Шмальгаузен, 1935) и аллометрического соотношения длина — масса тела рыб (Зыков, 2005; Зыков и др., 2019; Zykov etc., 2018):

$$l = qt^k \quad (18),$$

$$W = \rho t^c \quad (19),$$

$$W = \alpha l^\beta \quad (20),$$

где l, W — длина и масса тела рыб в возрасте t ; q, ρ, α — константы, характеризующие длину и массу тела годовиков и массу тела рыб при длине $l = 1$; k, c, β — константы, характеризующие относительную скорость линейного и весового роста рыб в возрасте $t = 1$ год или при длине $l = 1$ (Мина, Клевезаль, 1976; Зыков, 2005; Зыков и др., 2019).

Из уравнений (18) — (20) следует, что константы $q, \rho, \alpha, k, c, \beta$ связаны между собой соотношениями:

$$\rho = \alpha q^\beta \quad (21),$$

$$c = \beta k \quad (22).$$

С помощью этих зависимостей константы ρ и c уравнения роста массы (19) можно рассчитывать теоретическим путем, исходя из значений констант q, k, α, β уравнений линейного роста (18) и зависимости длина — масса тела рыб по (20), когда сведения о весовом росте отсутствуют.

Значения констант A, T^k уравнения естественной смертности (13) рассчитывали, исходя из значений констант q, k, c, β уравнений линейного и весового роста, и размерно-возрастных характеристик 50%-го полового созревания амурского осетра l_p и t_p по формулам (Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2019; Зыкова и др., 2013; Zykov etc., 2018):

$$A = \frac{1 - v_{mp}}{t_p^{2k}} \quad (23),$$

$$v_{mp} = 1 - e^{-M_p} \quad (24),$$

$$M_p = \frac{\beta k}{t_p} = \frac{c}{t_p} \quad (25),$$

$$t_p = \left(\frac{l_p}{q}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (26),$$

$$T^k = \frac{L}{q} = \frac{2l_p}{q} \quad (27),$$

$$T = \left(\frac{L}{q}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (28),$$

$$T = 2^{\frac{1}{k}} t_p \quad (29).$$

где v_{mp} — наименьшее значение коэффициента естественной смертности поколения рыб в возрасте полового созревания; l_p, t_p — длина и возраст, при которых половозрелыми становятся 50% особей поколения; M_p — мгновенный коэффициент естественной смертности в возрасте 50%-го полового созревания; L — максимальная биологическая длина рыб в популяции $L = 2l_p$ (Дрягин, 1935; Fulton, 1905). T — максимальный возраст, необходимый особям для достижения максимальных биологических размеров L , (28), (Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2019).

Биомассу популяции и ее отдельных компонентов рассчитывали путем перемножения численности на среднюю массу тела особей соответствующих возрастных групп.

Продукцию P_t , или годовой прирост биомассы поколения, рассчитывали общепринятыми методами (Винберг и др., 1986;

Зыкова, 1993; Зыков, 2005; Алимов и др., 2013; Zykov et al., 2019) по формуле:

$$\rho_t = \frac{(N_t + N_{t+1})}{2} (W_{t+1} - W_t) \quad (30),$$

где N_t, N_{t+1} — численность поколения рыб в начале и конце года; W_t, W_{t+1} — средняя масса тела особей в смежных возрастных группах.

Продукцию популяции Q_p определяли, суммируя годовые приросты массы тела особей отдельных возрастов:

$$Q_p = \sum_{t_0}^T \rho_t \quad (31),$$

Значения ρ/B — коэффициентов отдельных возрастных групп рассчитывали как отношение продукции ρ_t к биомассе поколений B_t :

$$\frac{\rho_t}{B_t} = \frac{\rho_t}{N_t W_t} \quad (32),$$

Величину ρ/B — коэффициента популяции определяли как отношение ее годовой продукции Q_p к общей биомассе Q в начале года:

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{\sum \rho_t}{\sum B_t} \quad (33).$$

Значения констант и параметров уравнений роста, полового созревания и продолжительности жизни амурского осетра, рассчитанные теоретическим путем, близко соответствуют их фактическим значениям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Кривые линейного, весового роста и аллометрического соотношения длина — масса тела амурского осетра, построенные по фактическим данным длины и массы тела в разных возрастах, показаны на рисунках 1–3.

Значения констант уравнений линейного и весового роста (18) — (20), количественные характеристики полового созревания l_p и t_p а также константы и параметры уравнения естественной смертности (17), полученные на основе кривых линейного и ве-

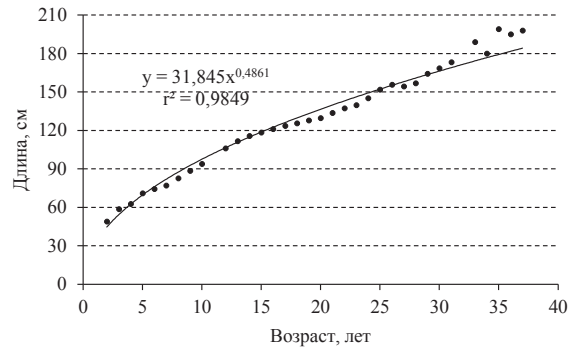


Рис. 1. Кривая линейного роста амурского осетра

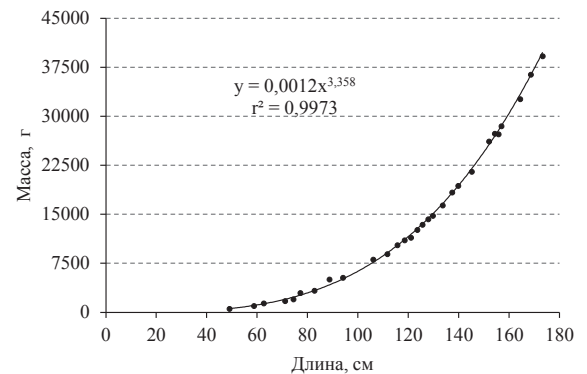


Рис. 2. Кривая аллометрического соотношения длина — масса тела амурского осетра.

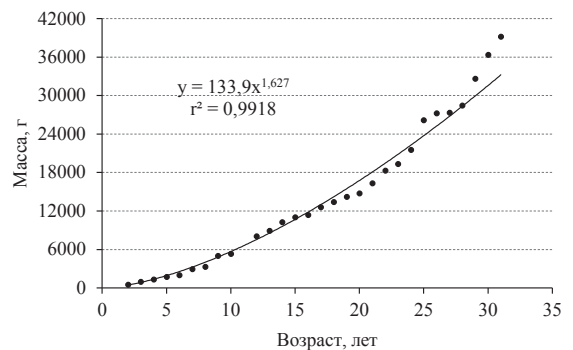


Рис. 3. Кривая роста массы тела амурского осетра.

сового роста (рис. 1–3) амурского осетра приведены в таблице 1.

Расчеты показали, что для амурского осетра характерен быстрый линейный рост молоди на первом году жизни ($q = 31,9$ см), (табл. 1). Длина годовиков амурского осе-

Таблица 1. Значения констант и параметров уравнений роста и естественной смертности амурского осетра

Константы, параметры	q	k	a	β	ρ	c	l_p
Значения	31,85	0,4844	0,0012	3,358	133,9	1,627	110,0
Константы, параметры	L	t_p	T	M_p	v_{mp}	T^k	A
Значения	220,0	12,9	54,0	0,126	0,118	6,907	0,0739

тра, при этом составляет 29,0% размеров 50%-го полового созревания ($l_p = 110$ см) и 14,4% максимальной биологической длины ($L = 220$ см). Скорость линейного роста амурского осетра на первом году жизни близка к росту годовиков русского осетра и севрюги Волжско – Каспийского бассейна (Зыков и др., 2013, 2019; Зыкова и др., 2013). Однако, при близких размерах, масса тела годовиков амурского осетра $\rho = 133,9$ г существенно ниже, чем у русского ($\rho = 281,8$ г), но близка к каспийской севрюге ($\rho = 157,6$ г), отличающейся более прогонистой формой тела и удлинённым рострумом (Берг, 1948; Казанчеев, 1981; Беляева и др., 1989; Зыков и др., 2013; Зыкова и др., 2013). Длина $l_p = 110$ см, возраст полового созревания $t_p = 12,8$ года, максимальный возраст $T = 54,0$ года и величина коэффициента естественной смертности амурского осетра в возрасте полового созревания $v_{mp} = 0,118$ близко соответствуют значениям этих показателей у русского осетра и севрюги (Зыков и др., 2013; Зыкова и др., 2013).

Результаты расчета численности, биомассы, продукции, естественной, промысловой смертности и P/B – коэффициентов условной популяции амурского осетра, образующейся от 1,0 млн экз. сеголетков, приведены в таблице 2.

При проведении расчетов было принято, что в промысловое стадо осетр вступает в возрасте 9–13,1 лет при длине 93–110,8 см (табл. 2). Начиная с возраста 18 лет, при длине больше 130 см, после завершения полового созревания, абсолютная возрастная структура, численность и биомасса промыслового стада полностью совпадает

со структурой половозрелой части популяции (табл. 2).

Выполненные расчеты показали, что при четырехлетней периодичности нереста ($\tau = 4$) и 20%-ом изъятии промыслового стада ($v_{F_i} = 0,2$) от годового пополнения сеголетков $R_{0,5} = 1,0$ млн экз. образуется условная популяция амурского осетра общей численностью 2049,7 тыс. экз. биомассой 1752,2 т (табл. 2).

В состав популяции осетра входит промысловое стадо численностью 63,7 тыс. экз. и биомассой 576,9 т. Оно состоит из половозрелого запаса численностью 42,2 тыс. экз., биомассой 394,5 т и, используемой промыслом неполовозрелой части популяции численностью 21,5 тыс. экз., и биомассой 182,4 т, особи которой достигли промысловых размеров и присутствуют в уловах в качестве неизбежного прилова. Половозрелое стадо представлено пропускающими нерест производителями численностью 31,7 тыс. экз. и биомассой 295,9 т с гонадами на промежуточных стадиях зрелости и нерестовым стадом численностью 10,5 тыс. экз., биомассой 98,6 т, производители которого содержат зрелую кондиционную икру (табл. 2).

В соответствии с качественным составом мигрирующего в р. Амур стада, структура улова осетра, составляющего 20% от промыслового запаса, представлена следующими категориями рыб: общий улов – 12,7 тыс. экз. и 115,4 т; общий улов половозрелого стада – 8,44 тыс. экз., 78,9 т; прилов неполовозрелых рыб – 4,3 тыс. экз. и 36,5 т; вылов пропускающих нерест производителей – 6,3 тыс. экз. и 59,2 т; улов производителей нерестового стада с конди-

Таблица 2. Структура численности и биомассы условной популяции амурского осетра, образующейся от пополнения $R_{0,5} = 1,0$ млн экз. сеголетков (периодичность нереста $\tau = 4$, коэффициент промысловой смертности промыслового стада $v_F = 0,2$ (20%; $t_0 = 0,12$ года)

Возраст t , лет	Длина l , см	Масса W , кг	v_{m_i} , ед.*	Условная популяция		χ , ед.*	Промысловое стадо		γ , ед.***	Половозрелое стадо	
				тыс. экз.	т		тыс. экз.	т		тыс. экз.	т
0,12	11,4	0,004	0,641	1000,0	4,254	0	0	0	0	0	0
1,12	33,6	0,161	0,473	358,5	57,70	0	0	0	0	0	0
2,12	45,8	0,454	0,374	189,0	85,86	0	0	0	0	0	0
3,12	55,3	0,852	0,305	118,3	100,8	0	0	0	0	0	0
4,12	63,2	1,339	0,254	82,24	110,1	0	0	0	0	0	0
5,12	70,3	1,907	0,215	61,35	117,0	0	0	0	0	0	0
6,12	76,6	2,549	0,186	48,14	122,7	0	0	0	0	0	0
7,12	82,4	3,260	0,163	39,20	127,8	0	0	0	0	0	0
8,12	87,8	4,038	0,146	32,80	132,4	0	0	0	0	0	0
9,12	92,9	4,877	0,134	28,00	136,6	0,1	2,800	13,66	0,1	2,800	13,66
10,12	97,7	5,776	0,126	24,07	139,0	0,25	5,923	34,21	0,2	4,738	27,37
11,12	102,3	6,733	0,121	20,72	139,5	0,5	9,767	65,76	0,3	5,860	39,46
12,12	106,6	7,746	0,118	17,81	138,0	0,75	11,42	88,45	0,4	6,090	47,17
13,12	110,8	8,812	0,119	15,23	134,2	1,0	11,14	98,16	0,5	5,570	49,08
14,12	114,8	9,930	0,122	12,91	128,2	1,0	7,587	75,34	0,6	4,552	45,20
15,12	118,7	11,10	0,126	10,82	120,1	1,0	5,146	57,12	0,7	3,603	39,99
16,12	122,4	12,32	0,133	8,949	110,2	1,0	3,466	42,70	0,8	2,773	34,16
17,12	126,1	13,58	0,141	7,280	98,90	1,0	2,311	31,40	0,9	2,080	28,26
18,12	129,6	14,90	0,151	5,813	86,61	1,0	1,522	22,68	1,0	1,522	22,68
19,12	133,0	16,26	0,163	4,545	73,91	1,0	0,987	16,05	1,0	0,987	16,05
20,12	136,3	17,67	0,175	3,503	61,88	1,0	0,629	11,12	1,0	0,629	11,12
21,12	139,6	19,12	0,189	2,655	50,76	1,0	0,393	7,514	1,0	0,393	7,514
22,12	142,7	20,61	0,204	1,976	40,73	1,0	0,240	4,949	1,0	0,240	4,949
23,12	145,8	22,15	0,220	1,442	31,93	1,0	0,143	3,170	1,0	0,143	3,170
24,12	148,8	23,73	0,237	1,028	24,40	1,0	0,083	1,970	1,0	0,083	1,970
25,12	151,8	25,35	0,255	0,716	18,16	1,0	0,047	1,185	1,0	0,047	1,185
26,12	154,7	27,01	0,273	0,486	13,13	1,0	0,026	0,689	1,0	0,026	0,689
27,12	157,5	28,71	0,293	0,321	9,211	1,0	0,013	0,386	1,0	0,013	0,386
28,12	160,3	30,45	0,313	0,205	6,258	1,0	0,007	0,207	1,0	0,007	0,207
29,12	163,1	32,23	0,334	0,127	4,108	1,0	0,003	0,107	1,0	0,003	0,107
30,12	165,8	34,05	0,356	0,076	2,601	1,0	0,002	0,053	1,0	0,002	0,053
31,12	168,4	35,91	0,378	0,044	1,584	1,0	0,001	0,025	1,0	0,001	0,025
32,12	171,0	37,81	0,401	0,024	0,926	1,0	0	0,011	1,0	0	0,011
33,12	173,6	39,74	0,424	0,013	0,518	1,0	0	0,005	1,0	0	0,005
34,12	176,1	41,71	0,449	0,007	0,277	1,0	0	0,002	1,0	0	0,002
35,12	178,6	43,72	0,473	0,003	0,141	1,0	0	0,001	1,0	0	0,001
36,12	181,0	45,76	0,498	0,001	0,068	1,0	0	0	1,0	0	0
37,12	183,4	47,84	0,524	0,001	0,031	1,0	0	0	1,0	0	0
38,12	185,8	49,95	0,550	0	0,013	1,0	0	0	1,0	0	0
39,12	188,1	52,10	0,576	0	0,005	1,0	0	0	1,0	0	0
40,12	190,4	54,28	0,603	0	0,002	1,0	0	0	1,0	0	0
41,12	192,7	56,50	0,631	0	0,001	1,0	0	0	1,0	0	0
Всего	—	—	—	2049,7	1752,2	—	63,7	576,9	—	42,2	394,5

Примечание: v_{m_i} — коэффициент естественной смертности, χ — доля особей промыслового стада, γ — доля половозрелых рыб поколения.

Таблица 2. Окончание

Возраст, лет	Нерестовое стадо		Естественная убыль		Вылов		Общая убыль		Продукция, т	Р/В-коэффициент, ед.
	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т		
0,12	0	0	641,5	52,99	0	0	641,5	52,99	106,4	1,897
1,12	0	0	169,6	52,17	0	0	169,6	52,17	80,33	1,392
2,12	0	0	70,63	46,14	0	0	70,63	46,14	61,08	0,711
3,12	0	0	36,08	39,52	0	0	36,08	39,52	48,85	0,485
4,12	0	0	20,89	33,91	0	0	20,89	33,91	40,77	0,370
5,12	0	0	13,21	29,44	0	0	13,21	29,44	35,15	0,300
6,12	0	0	8,944	25,98	0	0	8,944	25,98	31,07	0,253
7,12	0	0	6,397	23,34	0	0	6,397	23,34	27,97	0,219
8,12	0	0	4,796	21,38	0	0	4,796	21,38	25,52	0,193
9,12	0,700	3,414	3,750	19,98	0,560	2,731	4,310	22,71	23,25	0,170
10,12	1,185	6,843	2,974	18,60	1,185	6,843	4,159	25,45	20,68	0,151
11,12	1,465	9,864	2,354	17,04	1,953	13,15	4,307	30,19	17,60	0,134
12,12	1,523	11,79	1,803	14,93	2,284	17,69	4,087	32,62	14,05	0,119
13,12	1,392	12,27	1,324	12,41	2,228	19,63	3,552	32,04	10,47	0,107
14,12	1,138	11,30	0,923	9,706	1,517	15,07	2,440	24,77	7,443	0,099
15,12	0,901	10,00	0,651	7,622	1,029	11,42	1,680	19,05	5,248	0,092
16,12	0,693	8,539	0,462	5,978	0,693	8,539	1,155	14,52	3,660	0,086
17,12	0,520	7,065	0,327	4,658	0,462	6,280	0,789	10,94	2,519	0,080
18,12	0,381	5,669	0,230	3,590	0,304	4,536	0,535	8,125	1,707	0,075
19,12	0,247	4,013	0,161	2,724	0,197	3,210	0,358	5,935	1,136	0,071
20,12	0,157	2,779	0,110	2,028	0,126	2,223	0,236	4,251	0,741	0,067
21,12	0,098	1,879	0,074	1,476	0,079	1,503	0,153	2,979	0,473	0,063
22,12	0,060	1,237	0,049	1,047	0,048	0,990	0,097	2,037	0,295	0,060
23,12	0,036	0,793	0,031	0,722	0,029	0,634	0,060	1,356	0,179	0,056
24,12	0,021	0,493	0,020	0,482	0,017	0,394	0,036	0,877	0,105	0,053
25,12	0,012	0,296	0,012	0,312	0,009	0,237	0,021	0,549	0,060	0,051
26,12	0,006	0,172	0,007	0,194	0,005	0,138	0,012	0,332	0,033	0,048
27,12	0,003	0,096	0,004	0,116	0,003	0,077	0,007	0,193	0,018	0,046
28,12	0,002	0,052	0,002	0,067	0,001	0,041	0,003	0,108	0,009	0,043
29,12	0,001	0,027	0,001	0,037	0,001	0,021	0,002	0,058	0,004	0,041
30,12	0	0,013	0,001	0,019	0	0,011	0,001	0,030	0,002	0,039
31,12	0	0,006	0	0,010	0	0,005	0	0,014	0,001	0,038
32,12	0	0,003	0	0,005	0	0,002	0	0,007	0	0,036
33,12	0	0,001	0	0,002	0	0,001	0	0,003	0	0,034
34,12	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0,033
35,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
36,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
37,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
38,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
39,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
40,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
41,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
Всего	10,5	98,6	987,3	448,6	12,7	115,4	1000,0	564,0	566,9	0,312

ционной икрой и зрелыми половыми продуктами — 2,1 тыс. экз. и 19,7 т (табл. 2).

Годичные естественные потери амурского осетра достаточно велики и составляют 987,3 тыс. экз. и 448,6 т или 48,1% от общей численности $N = 2049,7$ тыс. экз. и 25,6% от общей биомассы $Q = 1752,2$ т популяции, значительно превышая величину получаемого улова $Q_f = 115,4$ т.

При предусмотренных расчетах режимах промысловой эксплуатации, биомасса условной популяции, образующейся от 1,0 млн экз. сеголетков, у амурского осетра составляет 1752,2 т, получаемый улов — 115,4 т, у каспийской севрюги с биомассой условной популяции 2533,0 т улов равен 77,0 т, у русского осетра с биомассой популяции 4242,0 т вылов соответствует 129,0 т (Зыков и др., 2013; Зыкова и др., 2013), (табл. 2).

Таким образом, промысловая продуктивность амурского осетра находится в диапазоне значений этих показателей у каспийских осетровых, а его промысловый возврат (улов от 1,0 млн экз. молоди) наиболее близок к русскому осетру. При этом промысел амурского осетра базируется на смешанном промысловом стаде, включающем половозрелых, неполовозрелых готовых к размножению и пропускающих нерест особей, а промысел каспийских осетровых — только на мигрирующих на нерест зрелых производителей, все самки которых готовы к нересту и имеют зрелую кондиционную икру. В общем улове амурского осетра — 115,4 т, доля готовых к нересту производителей со зрелыми половыми продуктами и кондиционной икрой составляет 19,7 т или 17% вылавливаемых особей (табл. 2).

На биомассу образующейся от молоди условных популяций влияет скорость весового роста особей на первом году жизни. У русского осетра со средней массой тела годовиков $\rho = 282,0$ г биомасса условной популяции составляет 4242,0 т, вылов — 129,0 т (Зыков и др., 2013), у каспийской севрюги с массой тела годовиков $\rho = 157,6$ г биомасса популяции равна 2533,0 т, улов —

77,0 т (Зыкова и др., 2013), у амурского осетра от годовиков массой $\rho = 133,9$ г, образуется условная популяция биомассой 1752,2 т с общим уловом 115,0 т (таблицы 1, 2).

В соответствии с выполненными расчетами, годичная общая убыль численности условной популяции амурского осетра $N_z = 1,0$ млн экз. соответствует величине годового пополнения $R_{0,5} = 1,0$ млн экз., а общая убыль биомассы $Q_z = 564,0$ т — годовой продукции популяции $Q_p = 566,9$ т (табл. 2). Значение P/B — коэффициента, равное 0,312 ед. показывает, что биомасса популяции амурского осетра за счет роста массы тела особей увеличивается в течение года на 31,2% (табл. 2). Такую же величину составляет относительная общая годичная убыль биомассы (табл. 2). Наиболее высокая годичная общая убыль численности и биомассы поколений наблюдается в младших возрастах. Самые высокие значения P/B — коэффициентов у поколений амурского осетра отмечается в раннем возрасте (табл. 2).

Как следует из соотношений (1) — (5), (12), величина промыслового возврата N_f зависит от количества поступающей в водоем молоди $R_{0,5}$, коэффициентов естественной смертности v_{m_i} , темпа полового созревания поколений γ , периодичности нереста τ и степени промыслового изъятия производителей v_{F_i} . Влияние на величину промыслового возврата объемов выращиваемой молоди $R_{0,5}$ естественной смертности и темпа полового созревания поколений γ достаточно очевидно — получаемый от поколения улов изменяется в соответствии с их значениями. Влияние на промысловый возврат периодичности нереста τ и коэффициента промыслового изъятия производителей $v_{F_{nt}}$ показано в таблицах 3 и 4.

Расчеты показали, что при коэффициенте промысловой смертности промыслового стада $v_{F_i} = 0,2$, запасы популяции, промыслового, половозрелого стада, вылов (промысловый возврат) и коэффициент промыслового возврата остаются постоянными, а периодичность нереста τ влияет только на долю в популяции, промысловом и полово-

Таблица 3. Влияние периодичности нереста τ на численность, биомассу популяции и промысловый возврат, амурского осетра ($R_{0,5} = 1,0$ млн экз., $v_F = 0,2$)

Периодичность нереста, лет	Промысловое стадо		Половозрелое стадо		Пропускающие нерест		Нерестовое стадо		Вылов		K_f , ед.
	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	
1,0	63,7	576,9	42,2	394,5	0	0	42,2	394,5	12,7	115,4	0,0127
2,0	63,7	576,9	42,2	394,5	21,1	197,2	21,1	197,3	12,7	115,4	0,0127
3,0	63,7	576,9	42,2	394,5	28,1	263,0	14,1	131,5	12,7	115,4	0,0127
4,0	63,7	576,9	42,2	394,5	31,6	295,8	10,6	98,7	12,7	115,4	0,0127
5,0	63,7	576,9	42,2	394,5	33,8	315,6	8,4	78,9	12,7	115,4	0,0127

Примечание: K_f — коэффициент промыслового возврата, ед.

зрелом стаде участвующих в размножении производителей (табл. 3). Если число лет между двумя нерестами повышается — количество пропускающих нерест производителей увеличивается, а число участвующих в нересте — падает (табл. 3). Суммарное количество входящих в состав нерестового стада и пропускающих нерест половозрелых особей равно численности и биомассе половозрелого стада. Доля производителей нерестового стада в улове, при этом, соответствует их доле в промысловой части популяции. Если промысел базируется только на использовании нерестового стада — при увеличении сроков между двумя нерестами (сокращении периодичности нереста) уловы соответственно снижаются, а запасы популяции увеличиваются (Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2019). При смешанном режиме рыболовства увеличение сроков между двумя нерестами не влияет на запасы, но сокращение запасов нерестового стада за счет увеличения сроков полового созревания производителей в конечном итоге приводит к снижению популяционной плодовитости, численности продуцируемого потомства и сокращению потенциала естественного воспроизводства популяции.

Промысел является одним из важнейших факторов, оказывающих непосредственное влияние на численность, биомассу,

абсолютную возрастную структуру, продуктивность популяций рыб и величину получаемого улова. Расчеты показали, что при 4-летней периодичности нереста и увеличении коэффициента промысловой смертности промыслового стада с 0 до 90%, численность условной популяции амурского осетра снижается с 2127,9 до 2000,7 тыс. экз., или на 5,9%, биомасса — с 2940,5 до 1269,6 т или в 2,3 раза, естественные потери численности — с 1000,0 до 981,0 тыс. экз., или на 1,9%, потери биомассы — с 674,7 до 381,6 т или на 43,4%. Запасы промыслового стада снижаются с 139,7 до 21,1 тыс. экз., или в 6,6 раза по численности и с 1750,5 до 138,8 т или в 12,6 раза по биомассе, половозрелого стада — с 106,7 до 14,4 тыс. экз. по численности и с 1451,6 т до 91,6 т по биомассе, нерестового стада — с 26,7 до 3,6 тыс. экз. по численности и с 362,9 т до 22,9 т по биомассе, вылов (промысловый возврат) увеличивается с 0 до 19,0 тыс. экз. по численности и с 0 до 124,9 т по биомассе (табл. 4). За счет вылова крупных особей средний вес осетра в уловах снижается 10,3 до 6,3 кг, а коэффициент промыслового возврата за счет снижения среднего веса в уловах увеличивается. Реально значимое увеличение уловов от 0 до 122,4 т происходит при повышении коэффициента промысловой смертности промыслового стада в диапазоне от 0 до $v_F = 0,3$

(30%). Дальнейший рост промысловых нагрузок к существенному увеличению вылова не приводит (табл. 4).

Проведенный таким образом анализ показал, что промысел, ориентированный на использование половозрелого запаса, оказывает на численность, биомассу популяции, половозрелого, нерестового стада, естественную смертность и уловы осетра достаточно существенное влияние, что необходимо учитывать при расчете и прогнозировании ожидаемых значений этих показателей.

В соответствии с приведенными выше данными, объемы искусственного воспроизводства осетра в последние двадцать лет, при колебаниях от 0,015 до 2,189 млн экз., поддерживались на уровне 0,885 млн экз. сеголетков.

Расчеты, выполненные по уравнениям (1) – (29), показали, что ежегодный выпуск в реку $R_{0,5} = 0,855$ млн экз. молоди амурского осетра при 20%-м изъятии промыслового стада и 4-х летней периодичности нереста обеспечивает формирование по-

пуляции численностью $N = 1752,5$ тыс. экз. и биомассой $Q = 1502$ т, с численностью промыслового стада $N_F = 54,4$ тыс. экз., биомассой $Q_F = 493,0$ т, дающей ежегодный вылов $N_f = 10,9$ тыс. экз. биомассой $Q_f = 98,7$ т.

При 3-х летней периодичности нереста и 20%-м изъятии нерестового стада, промысловый возврат каспийской белуги от 1,0 млн экз. молоди составляет 7,4 тыс. экз. и 379,0 т, шипа – 17,0 тыс. экз. и 291,0 т, русского осетра – 14,5 тыс. экз. и 164,0 т, севрюги – 12,2 тыс. экз. и 99,0 т, стерляди – 8,98 тыс. экз. и 9,18 т (Зыков, 2011; Зыков и др., 2013, 2015, 2017; Зыкова и др., 2013). По величине улова $Q_f = 98,7$ т, получаемого от пополнения $R_{0,5} = 0,855$ млн экз., амурский осетр наиболее близок к каспийской севрюге, у которой $Q_f = 99,0$ т.

Необходимо отметить, что узаконенный промысел осетровых на Амуре в настоящее время не ведется и организуется только для целей обеспечения рыбоводства. В этой связи оценить эффективность искусственного воспроизводства

Таблица 4. Влияние промысловой смертности v_f на численность, биомассу популяции и промысловый возврат амурского осетра ($R_{0,5} = 1,0$ млн экз., $\tau = 4$)

v_{F_i}	Условная популяция		Естественная убыль		Промысловое стадо		Половозрелое стадо	
	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т
0,0	2127,9	2940,5	1000,0	674,7	139,7	1750,5	106,7	1451,6
0,1	2075,9	2100,7	991,1	507,1	88,7	918,3	62,2	685,8
*0,118	2069,9	2016,3	990,2	492,2	83,0	835,2	57,5	612,8
0,2	2049,7	1752,2	987,3	448,6	63,7	576,9	42,2	394,5
0,3	2034,4	1576,1	985,2	422,4	49,3	407,9	31,7	263,1
0,4	2024,3	1472,9	983,9	408,1	40,2	311,5	25,6	195,1
0,5	2017,1	1405,4	983,0	399,1	34,0	250,5	21,7	155,8
0,6	2011,6	1357,4	982,4	392,8	29,4	208,9	19,1	130,8
0,7	2007,3	1321,3	981,8	388,2	26,0	178,8	17,1	113,6
0,8	2003,7	1292,7	981,4	384,5	23,2	156,2	15,6	101,0
0,9	2000,7	1269,6	981,0	381,6	21,1	138,8	14,4	91,6

Примечание: *Соответствует режиму оптимальной промысловой эксплуатации запаса, когда $v_{F_i} = v_{mp}$.

Таблица 4. Окончание

v_F	Пропускающие нерест		Нерестовое стадо		Вылов		Средний вес в улове, кг	K_f , ед.
	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т	тыс. экз.	т		
0,0	80,0	1088,7	26,7	362,9	0	0	—	0
0,1	46,7	514,3	15,6	171,4	8,9	91,8	10,3	0,0089
*0,118	43,1	459,6	14,4	153,2	9,8	98,5	10,1	0,0098
0,2	31,6	295,8	10,5	98,6	12,7	115,4	9,1	0,0127
0,3	23,8	197,3	7,9	65,8	14,8	122,4	8,3	0,0148
0,4	19,2	146,4	6,4	48,8	16,1	124,6	7,7	0,0161
0,5	16,3	116,8	5,4	38,9	17,0	125,2	7,4	0,0170
0,6	14,3	98,1	4,8	32,7	17,6	125,3	7,1	0,0176
0,7	12,8	85,2	4,3	28,4	18,2	125,2	6,9	0,0182
0,8	11,7	75,8	3,9	25,3	18,6	125,0	6,7	0,0186
0,9	10,8	68,7	3,6	22,9	19,0	124,9	6,6	0,0190

Примечание: *Соответствует режиму оптимальной промысловой эксплуатации запаса, когда $v_{F_i} = v_{mp}$;

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

амурского осетра, исходя из величины получаемых уловов, не представляется возможным, поскольку промысловый возврат, образующийся от заводской молоди, полностью изымается браконьерством (Кошелев, Беспалова, 2007).

Следует также отметить, что значения констант уравнений роста и характеристики полового созревания (табл. 1), определяющие форму кривых естественной смертности, у рыб не остаются постоянными и могут изменяться во времени в зависимости от складывающихся условий существования (Зыков, 2005). В соответствии с константами уравнений роста могут изменяться коэффициенты естественной смертности, которые вместе с промысловой смертностью влияют на численность и биомассу формирующихся от молоди поколений и получаемый промысловый возврат. Это должно учитываться при проведении соответствующих рыбохозяйственных исследований.

1. Промысловый возврат амурского осетра, получаемый от молоди искусственного воспроизводства, зависит от количества выпускаемой в речную систему молоди, скорости линейного и весового роста, естественной смертности, размеров, возраста и темпов полового созревания поколений, степени промыслового изъятия промыслового стада.

2. По показателям скорости линейного и весового роста, срокам полового созревания и продолжительности жизни амурский осетр наиболее близок к каспийской севрюге.

3. В течение жизненного цикла численность, абсолютная естественная убыль, продукция и P/B — коэффициенты поколений амурского осетра снижаются, длина и масса тела особей увеличивается, а биомасса изменяются по одновершинным параболическим кривым с максимумом, приходящимся на возраст полового созревания. Коэффициенты естественной смертности осетра в течении жизни изменяются по U -образным кри-

вым с минимумом, также приходящимся на возраст 50%-го полового созревания.

4. В сбалансированной по численности и биомассе популяции амурского осетра годовичные общие потери численности равны величине годового пополнения, а убыль биомассы — годовой продукции популяции.

5. Промысловый возврат амурского осетра повышается, когда объемы выращивания молоди, темпы полового созревания и степень облова нерестового стада увеличиваются, а период между двумя нерестами сокращается.

6. Промысловый возврат амурского осетра, получаемый от 1,0 млн экз. выращиваемой молоди, ниже, чем у каспийской белуги, шипа и русского осетра, но выше чем у нижеволжской стерляди и по своей величине близок к каспийской севрюге.

7. Для контроля биологической структуры, численности и состояния запасов амурского осетра на местах нагула, в районах сезонных концентраций и на путях нерестовых миграций необходимо организовать и регулярно вести соответствующие ихтиологические наблюдения.

8. Для определения объемов искусственного и естественного воспроизводства, обеспечивающих формирование запасов и получение уловов амурского осетра, соответствующих его пищевым потребностям и продукции используемой кормовой базы, необходимо провести специальные гидробиологические, трофологические и ихтиологические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука, 2013. 342 с.

Беляева В.Н., Казанчев Е.Н., Распопов В.М. и др. Каспийское море. Ихтиофауна и промысловые ресурсы. М.: Наука, 1989. 234 с.

Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 488 с.

Борисов В.М., Залесских Л.М. Оценка состояния запасов и степени промысловой эксплуатации печёрской наваги // Сб. науч. тр. ВНИРО. 1980. Т. 140. С. 75–84.

Винберг Г.Г., Алимов А.Ф., Уминов А.А., Норенко Д.С. Продуктивность и рациональное использование озер Еравно-Харгинской системы // Исследование взаимосвязи кормовой базы и рыбопродуктивности на примере озер Забайкалья. Л.: Наука, 1986. 230 с.

Державин А.Н. Севрюга *Acipenser stellatus*. Биологический очерк // Изв. Бакин. ихтиол. лаб. 1922. Т. 1. 393 с.

Дрягин П.А. Размеры рыб при наступлении половой зрелости // Рыбн. хоз-во. 1934. № 4. С. 27–29.

Зыков Л.А. Биоэкологические и рыбохозяйственные аспекты теории естественной смертности рыб. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2005. 373 с.

Зыков Л.А. Определение объемов искусственного воспроизводства каспийского лосося, обеспечивающих формирование его запасов в соответствии с кормовой продуктивностью Каспийского моря // Матер. Междунар. конф. «450 лет Астрахани». Астрахань, 2008. С. 355–358.

Зыков Л.А. Оценка промыслового возврата каспийской белуги *Huso huso* (L) от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыболовства. 2011. Т. 12. № 2 (46). С. 64–86.

Зыков Л.А., Зыкова Г.Ф., Абраменко М.И. Оценка промыслового возврата русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* от молоди искусственного воспроизводства // Там же. 2013. Т. 14. № 3 (55). С. 460–477.

Зыков Л.А., Казанский А.Б., Абраменко М.И. Расчет промыслового возврата шипа Каспийского моря *Acipenser nudiventris* от молоди искусственного воспроизводства // Там же. 2015. Т. 16. № 2. С. 148–159.

Зыков Л.А., Герасимов Ю.В., Абраменко М.И. Оценка промыслового возврата стерляди *Acipenser ruthenus* Нижней

Волги от молоди искусственного воспроизводства // Там же. 2017. Т. 18. № 4. С. 422–437.

Зыков Л.А., Герасимов Ю.В., Абраменко М.И., Лебедев Т.Б. Сравнительный анализ биологической и промысловой продуктивности ценных промысловых рыб Каспийского бассейна // Там же. 2019. Т. 20. № 2. С. 137–51.

Зыкова Г.Ф. Продукция сибирской плотвы реки Обь // Вопр. ихтиологии. 1993. Т. 33. Вып. 6. С. 799–803.

Зыкова Г.Ф., Зыков Л.А., Климов Ф.В. Оценка промыслового возврата каспийской севрюги *Acipenser stellatus* от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыболовства. 2013. Т. 14 № 2 (54). С. 303–320.

Казанчев Е.Н. Рыбы Каспийского моря. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981. 167 с.

Кошелев В.Н. Амурский осетр *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 (распределение, биология, искусственное воспроизводство) // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 2010. М. ВНИРО, 24 с.

Кошелев В.Н. Нерестовые миграции амурского осетра *Acipenser schrenckii*. Структура нерестовой части популяции и состояние гонад слагающих ее особей // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53. № 2. С. 211–221.

Кошелев В.Н., Евтешина Т.В., Ефимов А.Б., Антипова О.Н. Современное состояние искусственного воспроизводства амурских осетровых и меры по его интенсификации // Вопр. рыболовства. 2009. Т. 10. № 3 (39). С. 545–553.

Крыхтин М.Л. Изменение состава и численности стад калуги *Huso dauricus* (Georgi 1775) и осетра *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 за период запрета промысла в бассейне Амура // Вопр. ихтиологии. 1972. Т. 12. В. 1 (72). С. 3–12.

Крыхтин М.Л. Современное состояние и перспективы развития осетрового хозяйства в бассейне р. Амур // Биологические основы развития осетрового хозяйства в водоемах СССР. 1979. М.: Наука. С. 68–74.

Крыхтин М.Л., Горбач Э.И. Осетровые рыбы Дальнего Востока // Экономическая жизнь Дальнего Востока. 1994. Т. 1. № 3. С. 86–91.

Крюков Н.А. 1894. Некоторые данные о положении рыболовства в Приамурском крае // Записки Приамурского отдела Императорского русского географического общества. Т. 1. Вып. 1. Санкт-Петербург. 87 с.

Максименко В.П., Антонов Н.П. Оценка естественной смертности у морских промысловых популяций рыб Камчатского шельфа // Вопр. рыболовства. 2002. Т. 3. № 3. С. 450–463.

Мина М.Ф., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.

Пробатов А.Н. Материалы по изучению осетровых рыб Амура // Ученые записки Пермского университета. 1935. Т. 1. Вып. 1. С. 33–72.

Свирский В.Г. Амурский осетр и калуга (систематика, биология, перспективы воспроизводства). Дисс... канд. биол. наук. Владивосток. 1967. 399 с.

Тюрин П.В. Фактор естественной смертности рыб и его значение при регулировании рыболовства // Вопр. ихтиологии. 1962. Т. 2. Вып. 3 (24). С. 403–427.

Тюрин П.В. Биологические обоснования оптимального коэффициента вылова и допустимого предела прилова молоди ценных рыб // Тр. ВНИРО. 1967. Т. 62. С. 26.

Тюрин П.В. «Нормальные» кривые переживания и темпов естественной смертности рыб как основа регулирования рыболовства // Изв. ГосНИОРХ. 1972. Т. 71. С. 71–127.

Тюрин П.В. Теоретические основания рационального регулирования рыболовства // Там же. 1974. Т. 86. С. 7–25.

Хованский И.Е., Антипова О.Н. Искусственное воспроизводство осетровых в Хабаровском крае и Еврейской автономной области: история, современное состояние и перспективы развития // Современное состояние водных биоресурсов. Мат-лы науч.

конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центр. 2008. С. 811–817.

Черфас Б.И. Рыбоводство в естественных водоемах. М.: Пищ. пром-сть, 1950. 215 с.

Шмальгаузен И.И. Рост животных. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1935. С. 8–60.

Fulton T. W. The rate of growth of fishes // Annu. Rept. Fish. Board Scotland. 1904. V. 22. № 3. P. 141–241.

Zykov L.A., Kurochkina T.F., Na-

sibulina B.M., Attaala M. Ali., Popov N.N. Comparative Assessment of Biological and Fisheries Productivity of Caspian Sturgeons Species. Annual Research & Review in Biology 25 (1). 2018. 1–20.

Zykov L.A., Kurochkina T.F., Nasibulina B.M., Attaala M. Ali., Popov N.N., Shalgymbaeva M.S. Theoretical estimate of energy balance and nutritional needs of the population of russlan sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* in the Caspian Sea. Croatian Journal of Fisheries, 2019. V. 63–76, 77.

ASSESSMENT OF COMMERCIAL RETURN OF AMUR STURGEON *ACIPENSER SCHRENCKII* (ACIPENSERIDAE) FROM ARTIFICIAL REPRODUCTION JUVENILES

© 2020 y. V.N. Koshelev¹, L.A. Zykov²

1 – Khabarovsk branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Khabarovsk, 680000

2 – Astrakhan branch of the Kazakhstan Institute of environmental design, Astrakhan, 414041

Based on a model describing changes in the number of fish generations during the life cycle, stocks and commercial returns received from young Amur sturgeon are calculated. The efficiency of its factory reproduction in comparison with sturgeon of the Volga – Caspian basin is estimated. The influence of spawning frequency and fishing mortality on the stocks formed from young fish and the resulting catches is studied.

Keywords: Amur sturgeon, population, artificial reproduction, number, biomass, stocks, commercial return.

ПРОМЫСЕЛ ГИДРОБИОНТОВ

УДК: 595.384.2:639.2 (268.45)

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЗАПАСА СЕВЕРНОЙ КРЕВЕТКИ
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

© 2020 г. С. В. Баканев

*Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии (ПИНРО), Мурманск, 183038
E-mail: bakanev@pinro.ru*

Поступила в редакцию 27.02.2020 г.

В работе описано современное состояние оценки запаса северной креветки в Баренцевом море, а также рассмотрены трудности при оценке фактической промысловой биомассы, экологической емкости среды, максимального устойчивого вылова. Выполнен сравнительный анализ результатов с различными настройками продукционной модели, в том числе использующимися на рабочей группе ИКЕС по оценке запасов северной креветки (NIPAG). Абсолютная оценка запаса, а также оценка ОДУ, как производная от запаса и его скорости роста, в целом зависит не от исходных данных, а от наших экспертных соображений о емкости среды. Это объясняется, прежде всего, незначительным воздействием промысла на запас при существенной межгодовой изменчивости величины запаса по естественным причинам. Кроме того, существенная пространственная изменчивость ареала с многочисленными промысловыми скоплениями затрудняет моделирование запаса как единой популяции в системе «запас-промысел». В то же время возможен отказ от использования аналитической модели в пользу трендовых методов без серьезного ущерба для научных рекомендаций. При этом состояние запаса может оцениваться в контексте требований менеджмента для обеспечения долгосрочной устойчивой эксплуатации, а предоставляемые рекомендации вырабатываются на основе предосторожного подхода и парадигмы максимального устойчивого улова.

Ключевые слова: северная креветка, Баренцево море, оценка запаса, продукционная модель, байесовский подход.

ВВЕДЕНИЕ

Российский промысел северной креветки в Баренцевом море и сопредельных водах активно развивался с 70-х годов прошлого столетия (Беренбойм, 1992). В 80–90-х гг. прошлого века ежегодный вылов креветки российским флотом достигал 30–40 тыс. т. Однако с началом нынешнего тысячелетия наблюдалось снижение интереса российских рыбаков к этому объекту лова и в 2003–2012 гг. промысел был фактически прекращен. С 2013 г. наблюдается возобновление промысловой активности российских креветколовов. С 2017 г. отечественный вылов значительно увеличился (с 4 до 30 тыс. т), достигнув рекордных показателей в 2019 г.

С 2006 г. оценка популяционных и промысловых характеристик системы «запас-промысел» северной креветки Баренцева моря выполняется в рамках рабочей группы (РГ) NIPAG Международного совета по исследованию моря (ИКЕС). В качестве входных данных используются временные ряды уловов на усилия норвежского промысла, а также данные совместных российско-норвежских съемок (Hvingel, 2007). Инструментом оценки является стохастическая версия продукционной модели, в которой параметры оцениваются не только на основе фактических входных данных, но и на основе предположений об их возможных величинах (байесовский подход, Hvingel, Kingsley 2006). Такой комплексный под-

ход является вынужденной мерой, так как использование чистых входных данных не приводит к правдоподобным результатам при моделировании системы «запас-промысел». При этом оценка целевых ориентиров управления происходит в рамках самой модели (т.е. также основывается на субъективных предположениях), а граничные ориентиры выбираются экспертно (на основе рекомендаций ИКЕС для запасов, имеющих низкий уровень информационного обеспечения). Рекомендации по вылову вырабатываются на основе риск-анализа превышения граничных ориентиров. В то же время за всю историю такого подхода (с 2006 г.) фактический ежегодный международный вылов не превышал рекомендованный, а состояние запаса с 90-х годов прошлого столетия оценивалось как безопасное (с учетом оцененных граничных и целевых ориентиров). Поэтому существующий подход с методической точки зрения рассматривался группой NIPAG как приемлемый. В соответствии с предосторожными рекомендациями международный ежегодный вылов в 2015–2019 гг. рекомендован на уровне 70 тыс. т (ICES, 2019), что при запасе, оцененном выше 2 млн т, является весьма консервативным подходом. В то же время при интенсификации промысла и возможном выходе ежегодного вылова за рамки предосторожных рекомендаций NIPAG может возникнуть обоснованный вопрос о правомерности использования вышеописанного подхода и поиске альтернативных оценок системы «запас-промысел» для обоснования большей величины вылова.

Таким образом, активная эксплуатация запаса в последние годы послужила причиной подробного пересмотра как ретроспективных данных о состоянии популяции северной креветки в Баренцевом море, так и российской промысловой статистики. В данной работе рассматривается текущее состояние запаса и российского промысла, а также методы оценки системы «запас-промысел», применяемые для этой популяции как на РГ NIPAG, так и собственные подходы. В связи с этим решались следующие задачи:

- 1) сформировать репрезентативные массивы эмпирических данных по биологии и промыслу северной креветки в Баренцевом море;
- 2) оценить показатели промысла, полученные в ходе отечественного лова северной креветки за последние два десятилетия;
- 3) оценить популяционные характеристики и индексы биомассы, полученные в ходе экосистемных съемок;
- 4) в серии модельных экспериментов оценить преимущества и недостатки существующей оценки запаса северной креветки Баренцева моря, выполняемой РГ NIPAG;
- 5) оценить целесообразность использования модельного подхода к управлению запасом и выработать рекомендации по дальнейшему совершенствованию методов оценки и прогнозирования состояния запаса северной креветки в Баренцевом море.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В основу работы положены три ретроспективных массива данных: 1) данные отечественного промысла северной креветки в Баренцевом море в 2000–2019 гг.; 2) данные совместных российско-норвежских съемок в 2004–2019 гг.; 3) входные данные для модельных расчетов оценки динамики запаса и ориентиров управления, выполняемых в рамках Рабочей группы (РГ) ИКЕС по оценке креветки (NIPAG) за 1970–2019 гг.

Для формирования временных рядов промысловых данных использовали базу данных ПИНРО «Промысел», сформированную на основе судовых суточных донесений (ССД) ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи». Анализировали информацию по каждой промысловой операции, включая следующие характеристики: бортовой номер судна; дата операции; тип трала; продолжительность траления; тоннаж судна; координаты; глубина; вылов креветки (табл. 1).

Промысловая база данных содержала 18963 промысловые операции. Для стандартизации улова на усилие использована обобщенная линейная модель (Баканев, 2019), при этом каждой операции были присвоены

Таблица 1. Основные показатели российского промысла северной креветки в Баренцевом море в 2000–2019 гг.

Период промысла		Акватория района промысла, тыс. км ²	Кол-во		Производительность (СРУЕ), кг/ч		Вылов, тыс. т
год	месяц		судов	промысловых операций	Нестандартизированная	Стандартизированная	
2000	I–XII	157	91	21599	186	233	18,995
2001	I–XII	99	49	5839	176	226	5,708
2002	II–X	128	20	4319	171	228	3,751
2003	III–XII	90	19	3486	139	213	2,775
2004	II–XII	115	13	2268	168	222	2,410
2005	I, II, IV, V, VIII, IX, XII	28	5	211	221	271	0,434
2006	I	0,1	1	4	-	-	0,003
2007	IV, V	14	2	194	196	234	0,191
2008	V–IX	19	1	378	331	299	0,416
2013	III–VII, IX–XI	32	2	685	292	251	1,064
2014	III–IX	21	1	415	300	255	0,738
2015	I–XII	35	2	754	220	204	1,150
2016	II–XI	41	7	1426	313	283	2,490
2017	III–XII	45	8	1957	351	250	3,846
2018	I–XII	76	15	5391	419	278	12,559
2019	I–XII	83	23	10076	530	320	27,760

следующие категории (факторы): год, месяц, судно, тип трала, промысловый район, глубина. Кроме того, были проанализированы доступные ССД иностранного флота, добывавшего северную креветку в ИЭЗ России в 2011–2019 гг. (3175 операций исландских, норвежских и датских судов).

С 1982 г. для оценки состояния запаса северной креветки в Баренцевом море проводятся траловые научно-исследовательские съемки. Основными целями исследований являются оценка индекса биомассы запаса, определение биологического состояния популяции, а также ее распределения и размерного состава. Норвежские экспедиции проводились в 1982–2004 гг. и охватывали акватории ИЭЗ Норвегии и район арх. Шпицберген. В 1984–2002 гг. проводились также российские съемки, которые охваты-

вали акватории ИЭЗ России и район арх. Шпицберген.

Также с 2004 г. съемка баренцевоморского запаса северной креветки осуществляется в рамках комплексной российско-норвежской экосистемной съемки, которая ежегодно проводится по стандартной методике в летне-осенний период и охватывает большую часть акватории Баренцева моря. Площадь съемки в среднем составляет около 1500 тыс. км² (рис. 1). Ежегодно выполняется около 360 донных тралений по стандартной сетке от края континентального шельфа на западе до арх. Новая Земля на востоке, от побережья Норвегии и России на юге до кромки льда на севере (Olsen et al., 2007).

Оценка индекса общего запаса северной креветки выполнена методом площадей. Для этого район съемки (1,5 млн км²) раз-

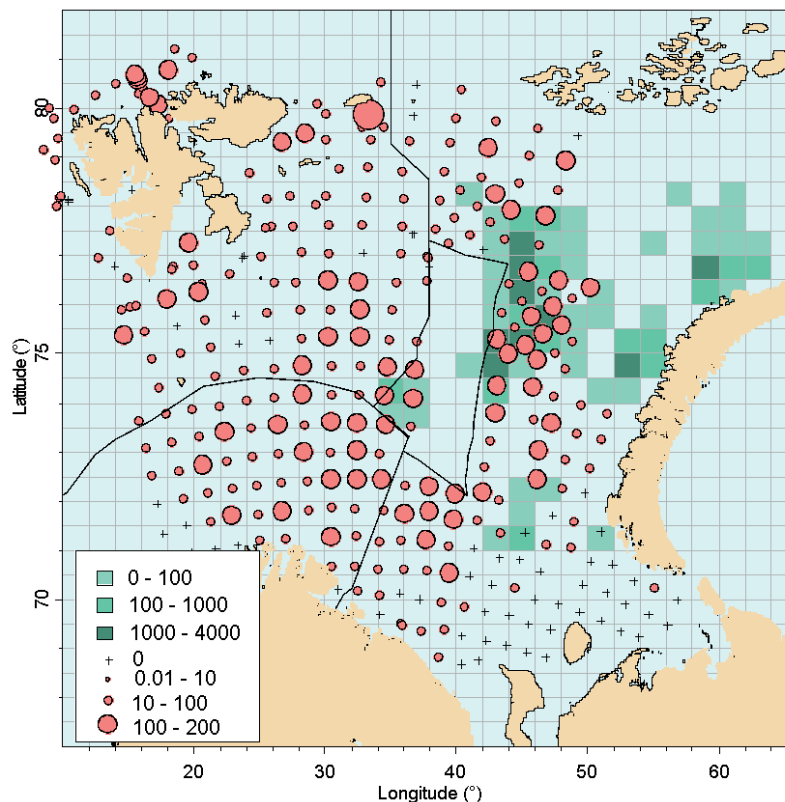


Рис. 1. Картограмма вылова северной креветки в ходе ее российского промысла (т, зеленые полигоны) и экосистемной съемки (кг/траление, красные круги) в Баренцевом море и сопредельных водах в 2019 г.

деляли на пять основных областей (страт), каждую из которых дополнительно подразделяли на шесть разноглубинных страт с шагом 100 м (от 0 до 600 м). Границы страт соответствовали контурам глубин, полученным из международной базы данных по батиметрии GEBCO (<http://www.gebco.net>). Площадь (км²) каждой страты была рассчитана в программе ArcGIS с использованием проекции равных площадей (Albers Equal-Area Conic). Расчеты индексов биомассы и численности северной креветки осуществлялись согласно стандартной методике, разработанной для стратифицированных съемок гидробионтов (Cochran, 1963). В 2019 г., как и в 2014 и 2018 гг., часть традиционной акватории съемки не была покрыта тралениями. Для расчета индекса биомассы на этой акватории были использованы данные тралений на этой же акватории, выполненные за три предыдущих года. Средний индекс за

эти три года включали в оценку общего индекса запаса, выполняемую в текущем году (табл. 2).

Оценка уловов северной креветки в ходе съемки производилась в рамках стандартной методики обработки улова. Для проведения биологического анализа случайным образом отбиралась навеска креветки массой 1 кг. При величине улова менее 1 кг, биологическому анализу подвергались все особи. Анализ включал в себя следующие операции: измерение длины (от глазной выемки до заднего края карапакса с точностью до 0,1 мм), определение пола и стадий зрелости гонад, стадии линьки (табл. 2).

Кроме того, в качестве входных данных для модельных экспериментов были использованы временные ряды индексов запасов и априорные распределения параметров стохастической продукционной модели, применяемой на NIPAG (Hvingel, 2019).

Таблица 2. Характеристика материала по северной креветке, собранного в ходе экосистемных съемок в Баренцевом море и сопредельных с ним водах в 2004–2019 гг.

Год	Количество			Индекс общей биомассы, тыс. т	Коэффициент вариации индекса, %
	донных тралений	тралений с уловом креветки	промеров креветки*		
2004	624	487	1245	365	9
2005	649	492	1190	527	23
2006	550	375	15567	605	8
2007	608	478	5439	474	7
2008	452	331	10178	354	9
2009	387	313	11403	424	10
2010	331	249	5309	597	9
2011	401	314	3063	547	9
2012	455	337	3467	602	8
2013	493	395	5387	512	7
2014	304	264	5012	380**	7
2015	335	248	5705	401	7
2016	311	236	8167	318	9
2017	350	269	2480	529	8
2018	235	169	2333	619**	10
2019	322	254	4489	782**	15

Примечание: * – в ИЭЗ России; ** – индекс восстановлен (см. пояснения в тексте).

Входной массив включает в себя следующие временные ряды: 1) стандартизированные уловы на усилие норвежского промысла в 1980–2019 гг.; 2) индексы запаса, оцененные по норвежским съемкам 1982–2004 гг.; 3) индексы запаса, оцененные по советско-российским съемкам 1984–2002 гг.

При этом осуществлен анализ результатов оценки запаса северной креветки в Баренцевом море, проводимой в рамках рабочей группы NIPAG, а также выполнен ряд альтернативных расчетов для выявления недостатков и преимуществ данного подхода.

Продукционная модель оценки запаса (Schaefer, 1954), используемая на рабочей группе NIPAG, реализована в рамках байесовского подхода моделирования системы пространства состояний (Hvingel, Kingsley, 2006; Schnute, 1994). Для снижения неопределенности, возникающей при

оценке «улавливаемости» (параметра шкалирующего индексы с биомассой), вводится относительный индекс P_t , полученный путем деления фактической величины биомассы (B_t) на биомассу, соответствующую MSY , т.е. максимальному устойчивому вылову (B_{MSY}). При этом уравнение процесса, описывающего динамику биомассы с учетом «ошибки процесса» (process error), выглядит так:

$$P_{t+1} = \left(P_t - \frac{C_t}{B_{MSY}} + \frac{2MSY \times P_t}{B_{MSY}} \left(1 - \frac{P_t}{2} \right) \right) \times \exp(v), \quad (1)$$

где P_t – отношение биомассы в году t к биомассе, соответствующей уровню MSY ($P_t = B_t / B_{MSY}$). В рамках диапазона варьирования биомассы запаса (B) относительная величина P будет равна 1 при $B_t = B_{MSY}$, а $P=2$ будет соответствовать $B_t = 2B_{MSY}$. Вычислительная ошибка оценивания моде-

лируемой численности (v) имеет нормальное распределение со средним 0 и стандартным отклонением σ_v^2 .

Ненаблюдаемая переменная P_t может быть выражена через наблюдаемый показатель относительной численности ($Index_t$), т.е. индекса, рассчитанного по результатам исследовательской съемки или улова на усилии:

$$Index_t = q_{index} B_{MSY} P_t \times \exp(k), \quad (2)$$

Отношение индекса к реальной величине биомассы выражается через коэффициент улавливаемости q , а e^k — ошибка измерения индекса численности, имеющая нормальное распределение со средним 0 и стандартным отклонением σ_k^2 (Haddon, 2001).

В качестве индексов использовались:

1) ежегодный стандартизированный индекс улова на усилии норвежского промыслового флота ($CPUE_t$) в 1980–2019 гг.;

2) ежегодный индекс биомассы по норвежской съемке (NOR_t) в 1982–2004 гг.;

3) ежегодный индекс биомассы по российской съемке (RUS_t) в 1984–2005 гг.;

4) ежегодный индекс биомассы по российско-норвежской экосистемной съемке (ECO_t) в 2004–2019 гг.

Согласно рассмотренным выше уравнениям, для построения модели требуется оценить следующие параметры: максимальную возможную биомассу популяции при отсутствии промысла (K , емкость среды), коэффициенты улавливаемости, максимальную прибавочную продукцию или максимальный устойчивый вылов (MSY), отношение начальной биомассы к биомассе, соответствующей MSY (P_1), а также величины стандартных отклонений ошибок.

На момент настоящего исследования не имеется достоверных данных о величине емкости среды K для запаса северной креветки в Баренцевом море. Предположение о величине K на рабочей группе NIPAG основывалось на допущении о схожести экологических параметров запасов северной

креветки Баренцева моря и вод западной Гренландии (Hvingel, 2007, 2019). Прайер для K был оценен на основе предполагаемого апостериорного значения этого параметра для западно-гренландского запаса, медиана которого составляла 728 тыс. т с 95%-ным доверительным интервалом с границами 300 и 2500 тыс. т. Площадь Баренцева моря примерно в 3,4 раза больше, чем акватория распределения запаса северной креветки в водах западной Гренландии, и, следовательно, величина K для запаса западной Гренландии была умножена на 3,4. То есть априорное распределение K для запаса Баренцева моря оценивалось логнормальным распределением с медианой 2500 тыс. т с 95%-ным доверительным интервалом с границами 800 и 8000 тыс. т.

Априорное распределение K , оцененное на рабочей группе NIPAG, соответствовало высокоинформативному прайеру, т.е. при отсутствии воздействия промысла на запас параметры продукционной модели будут в большей степени зависеть от априорной оценки K , нежели от входных данных. Для оценки чувствительности модели к выбору параметров K в настоящей работе были также использованы два варианта оценки прайера K : 1) неинформативный, с равномерным распределением от 0,5 до 10 млн т; 2) информативный, аналогичный принятому в NIPAG; 3) информативный, значительно ниже принятого NIPAG, которое аппроксимировалось логнормальным распределением со средним значением 1000 тыс. т с 95%-ным доверительным интервалом с границами 300 и 3000 тыс. т.

На момент исследования не имеется достоверных данных о величине коэффициентов улавливаемости для индексов уловов на усилии при промысле северной креветки в Баренцевом море. Также нет достоверных данных о фактической величине биомассы промыслового запаса в Баренцевом море и коэффициентах, масштабирующих эту биомассу к индексам, рассчитанным по траловым съемкам. Когда заранее ничего не известно о параметре, одним из вариантов решения

проблемы может стать выбор равномерного распределения в качестве априорного (когда все возможные исходы случайной величины имеют равные вероятности). В данном случае распределение коэффициента улавливаемости будет ограничено лишь его физической сущностью, т.е. равновероятно находится в области значений от 0 до 1. Математически такой малоинформативный прайер принято записывать как: $\ln(q) \sim \text{dunif}((-10;1)$, где dunif – равномерное распределение от -10 до 1 (таблица 3; Punt, Hilborn, 1997).

Согласно уравнению (1) параметры распределения MSY , как относительного прайера, определяются в основном емкостью среды K . Исходя из этого, распределение плотности вероятностей возможных значений MSY выбиралось с учетом распределения K . Однородное распределение MSY задавали в границах от 1 до 500 тыс. т. Нижняя граница определялась с учетом наиболее пессимистической оценки продуктивности запаса. Верхняя граница задавалась высокой, чтобы биологически правдоподобное апостериорное распределение параметра целиком вошло в априорное.

Как правило, допускается, что биомасса перед началом промысла $B_0 \approx K$ (или $P_0=2$), т.е. запас оценивается на максимальном уровне и в это время промысел существенно не влияет на динамику запаса. В модели на рабочей группе NIPAG принимается, что биомасса запаса (P_0) в 1969 г., была близка к K , поскольку промысел в то время ограничивался только прибрежными районами. Прайеру P_0 было присвоено нормальное распределение со средним значением $= 1,5$ и сигмой $= 0,26$, т.е. широкое распределение со средним значением между B_{MSY} и K (табл. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки динамики биомассы было выполнено три прогона модели с различным предположением о величине емкости среды (K): 1) с ограничением предложенным рабочей группой NIPAG; 2) с ограничением K

в диапазоне близком к 1 млн т; 3) без ограничения (рис. 2).

Анализ результатов прогонов моделей показал, что при схожей динамике запаса его абсолютная величина (биомасса) в значительной степени зависит от априорного предположения о величине K . Ограничивая прайер K в диапазоне значений со средней в 2,5 млн т (оценка NIPAG, 1 вариант), величина биомассы при этом варьирует в пределах 2–3 млн т. Если же ограничение K установить в рамках близких к 1 млн т (2 вариант), то биомасса запаса изменяется в диапазоне 0,8–1,2 млн т. Отсутствие жестких ограничений K (3 вариант) приводит к значительному увеличению запаса с максимальными значениями в 5–6 млн т.

Таким образом, результаты прогонов показали, что выбор различных параметров распределения K дает значительные смещения в апостериорных оценках, что указывает на то, что оценка запаса главным образом базируется не на исходных данных, а на наших экспертных соображениях о максимальной величине запаса в отсутствии промысла, т.е. емкости среды K . С учетом того, что в настоящее время отсутствуют объективные данные о возможной величине K , к результатам оценки абсолютных величин биомассы необходимо относиться с определенной долей скепсиса и в большей степени полагаться на относительную динамику.

При прогоне модели с входными данными и параметрами, принятыми на рабочей группе NIPAG (рис. 3), были получены весьма сходные результаты оценок, учитывая стохастичную природу модели. Апостериорные значения K (2652 тыс. т) и MSY (190 тыс. т), рассчитанные NIPAG, имеют сходные показатели с нашими оценками K (2677 тыс. т) и MSY (192 тыс. т). Динамика запаса в основном варьировала в пределах 2–3 млн т, максимальные колебания в биомассе (1,5–3,5 млн т) были отмечены для 1984–1989 гг.

По нашим расчетам и расчетам NIPAG, на начало 2019 г. промысловый запас северной креветки в Баренцевом море

Таблица 3. Входные параметры модели оценки запаса северной креветки в Баренцевом море (распределение: *dunif* – равномерное, *dnorm* – нормальное, *dlnorm* – логнормальное, *dgamma* – гамма)

Параметры		Прайеры	
Наименование	Символ	Тип	Распределение
Емкость среды (1 вариант)	K	информативный	dlnorm (7,82; 3)
Емкость среды (2 вариант)		информативный	dlnorm (6,90; 3)
Емкость среды (3 вариант)		неинформативный	dunif (500; 10000)
Максимальный устойчивый вылов	MSY	относительный	dunif (1; 500)
Начальная биомасса в 1969 г.	P_0	информативный	dnorm (1,5;0.26)
КУ* для индекса CPUE	q_{CPUE}	низкоинформативный	$\ln(q_{CPUE}) \sim \text{dunif}(-10;1)$
КУ для индекса NOR	q_{NOR}	низкоинформативный	$\ln(q_{NOR}) \sim \text{dunif}(-10;1)$
КУ для индекса RUS	q_{RUS}	низкоинформативный	$\ln(q_{RUS}) \sim \text{dunif}(-10;1)$
КУ для индекса ECO	q_{ECO}	низкоинформативный	$\ln(q_{ECO}) \sim \text{dunif}(-10;1)$
Ошибка индекса CPUE	$1/\sigma_{CPUE}^2$	низкоинформативный	dgamma (0,001; 0,001)
Ошибка индекса NOR	$1/\sigma_{NOR}^2$	низкоинформативный	dgamma (0,001; 0,001)
Ошибка индекса RUS	$1/\sigma_{RUS}^2$	низкоинформативный	dgamma (0,001; 0,001)
Ошибка индекса ECO	$1/\sigma_{ECO}^2$	низкоинформативный	dgamma (0,001; 0,001)
Ошибка модели	$1/\sigma_{\rho}^2$	низкоинформативный	dgamma (0,001; 0,001)

Примечание: *КУ – коэффициент улавливаемости.

и сопредельных водах оценивается на уровне 3,1 млн т с 95%-ным доверительным интервалом от 1,5 до 4,5 млн т. Положительный тренд в 2016–2019 гг. в динамике биомассы обусловлен поведением двух временных рядов: индексов биомассы северной креветки по данным экосистемных съемок и промысловыми уловами на усилие.

Стоит отметить, что эти величины биомассы (B_t) на NIPAG не визуализируются и не рассматриваются, а учитывается динамика относительной биомассы (ρ_t , т.е. отношение биомассы B в году t к B_{MSY}). При этом для анализа связи динамики запаса

с интенсивностью промысла вначале строилась зональная диаграмма (рис. 4). Ось абсцисс, по которой отложена относительная биомасса, разбивается на три отрезка двумя точками, соответствующими пороговым состояниям популяции B_{MSY} и B_{lim} . Параметр B_{MSY} , являясь возможным целевым ориентиром управления, по продукционной модели равен 1326 тыс. т. На оси абсцисс, соответствующей относительной биомассе, величина B_{MSY} соответствует единице. Параметр B_{lim} является граничным ориентиром, ниже которого состояние запаса рассматривается как неблагоприятное. Величина B_{lim} в нашей ра-

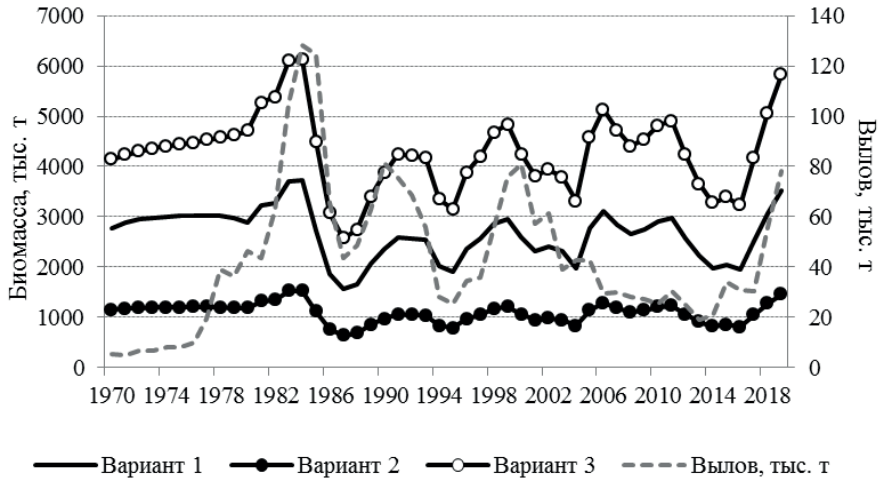


Рис. 2. Динамика международного ежегодного вылова и моделируемого запаса северной креветки в Баренцевом море в 1970–2019 гг., при различных вариантах априорного распределения параметра K (емкость среды, см. пояснения в тексте).

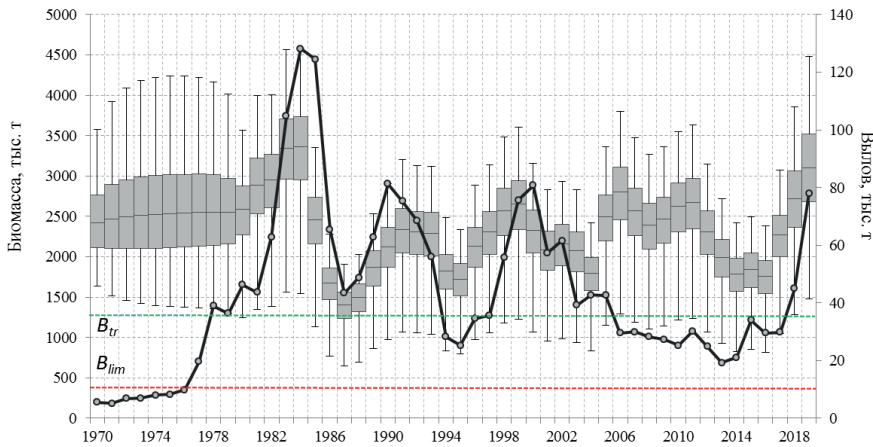


Рис. 3. Динамика биомассы промыслового запаса (тыс. т, диапазон квартилей с медианой и планками погрешностей) и международного вылова (тыс. т, линия) северной креветки в Баренцевом море и сопредельных водах в 1970–2019 гг.

боте равна 30% от B_{MSY} , что соответствует принятой схеме регулирования рыболовства в Северной Атлантике, при оценке запасов рыб и беспозвоночных по продукционным моделям (NAFO, 2004). Биологический смысл этого ориентира управления соответствует определению перелома по пополнению, т.е. такого состояния популяции, когда из-за низкой численности производителей продуцируемое ими пополнение не может компенсировать общую убыль запаса (Рикер, 1979).

Для оценки интенсивности эксплуатации популяции ось ординат, по которой отложена относительная смертность (F_t/F_{MSY}), разбивается на два отрезка точкой, соответствующей ориентире F_{lim} . Величина F_{lim} является границей, превышение которой может привести к подрыву запаса. Величина F_{lim} в нашей работе принята равной F_{MSY} , что соответствует принятой схеме регулирования рыболовства в Северной Атлантике, при оценке запаса по продукционным моделям (NAFO, 2004).

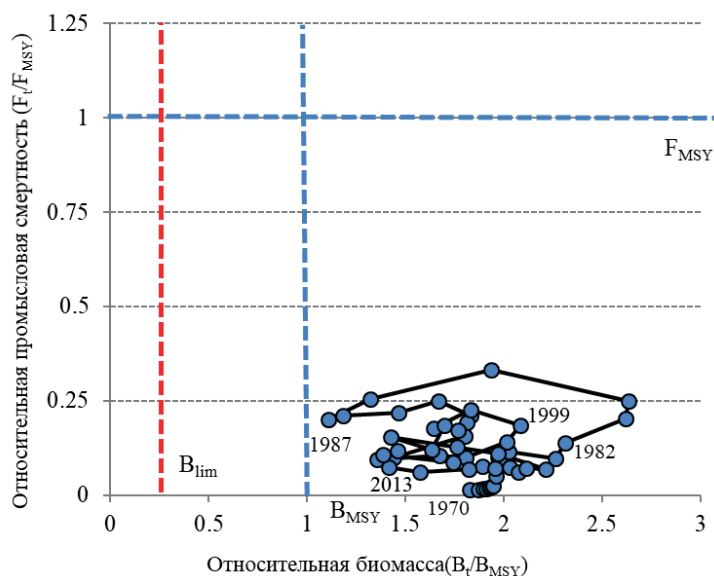


Рис. 4. Ежегодное соотношение относительной биомассы (B_t/B_{MSY}) к ежегодной смертности (F_t/F_{MSY}) в 1970–2019 гг. в зональном представлении области управления для запаса северной креветки в Баренцевом море.

Траектория соотношения медианных оценок (B_t/B_{MSY}) и (F_t/F_{MSY}) (рис. 4) начинается с 1970 г., когда биомасса была на достаточно высоком уровне ($1,8 \times B_{MSY}$), а эксплуатация незначительной. В 1982–1990 гг. промысловая смертность существенно увеличивается, однако относительный уровень эксплуатации находится на сравнительно низких показателях (около $0,25 \times F_{MSY}$), а биомасса не показывает признаков снижения. В последующие годы биомасса запаса оценивается выше, чем B_{MSY} ; промысловая смертность варьирует в диапазоне от 0,1 до 0,2.

Риск-анализ превышения ориентиров управления при различной эксплуатации запаса северной креветки в Баренцевом море в 2020 г. представлен в таблице 4. Согласно полученным результатам, риск уменьшения биомассы запаса ниже уровня B_{lim} невелик даже при возможном годовом общем вылове в Баренцевом море и сопредельных водах 200 тыс. т северной креветки.

Как видно на рисунке 5 способность нашей модели определить равновесную продукционную кривую не велика. Определение MSY требует более сильного влияния про-

Таблица 4. Риск-анализ превышения ориентиров управления при различной эксплуатации запаса северной креветки в Баренцевом море в 2020 г.

Возможный риск	Вылов, тыс. т							
	0	50	75	100	125	150	175	200
Уменьшение ниже B_{lim} ($0,3 B_{MSY}$), %	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
Уменьшение ниже $B_{trigger}$ ($0,5 B_{MSY}$), %	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
Превышение F_{MSY} , %	0,0	10,0	17,2	25,1	33,2	41,2	48,9	56,0
Превышение $1,7 F_{MSY}$, %	0,0	4,9	9,0	13,4	18,3	23,3	28,5	33,8

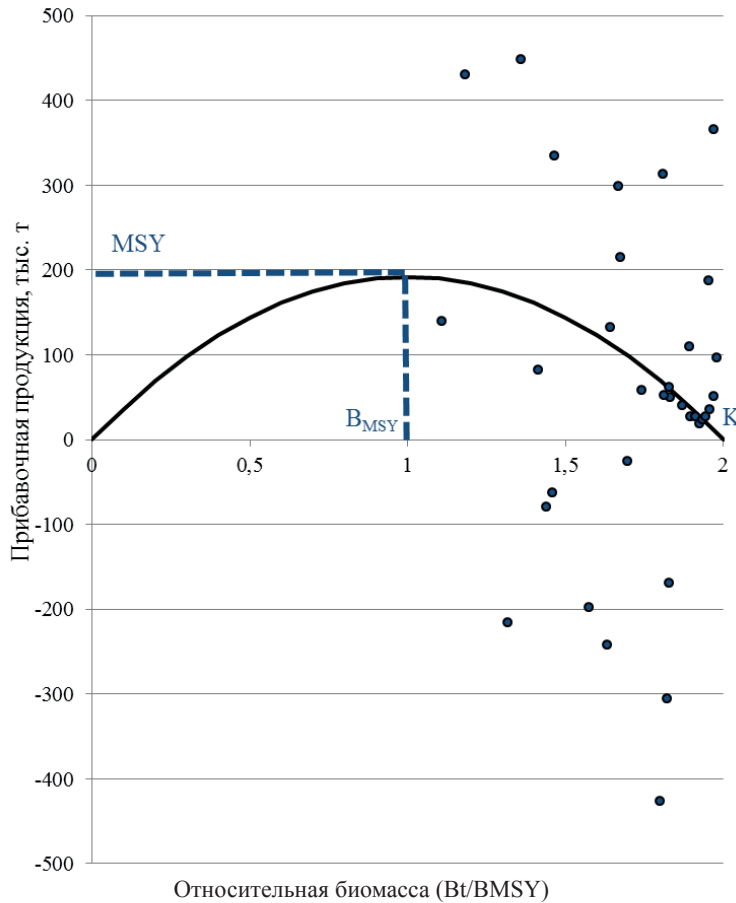


Рис. 5. Зависимость продукции от биомассы запаса, рассчитанная с использованием параметров модели (парабола) и модельных оценок биомассы и вылова (точки). Вершина параболы соответствует максимальной прибавочной продукции (MSY) при биомассе B_{MSY} .

мысла на запас. Однако можно предположить, что при наших представлениях о величине емкости среды и имеющихся данных об интенсивной эксплуатации запаса северной креветки в 1970–2018 гг. она может находиться в пределах 150–250 тыс. т. Возможно, что отклик популяции северной креветки в Баренцевом море на промысел происходит, но пока имеющийся уровень обеспеченности данными и оценочных процедур не позволяет определить его. Вероятно, существующие производственные резервы запаса смогут обеспечить в перспективе высокую степень его эксплуатации, и одновременно позволят отслеживать реакцию популяции на возросшие промысловые усилия.

Для оценки прогностических способностей производственной модели сравни-

вали два ряда отклонений за 2003–2017 гг. (рис. 6): 1) отклонение моделируемой биомассы в году t от ее прогнозных значений в году $t-1$ (прогноз); 2) отклонение моделируемой биомассы в году t от среднемноголетнего значения за предыдущие три года ($t-1, t-2, t-3$) (средний).

Сумма квадратов отклонений моделируемой биомассы в году t от ее прогнозных значений в году $t-1$ (1613615) оказалась несколько меньше суммы квадратов отклонений моделируемой биомассы в году t от среднемноголетнего значения за предыдущие три года (1854687). Однако разница в показателях статистически не значима (вероятность, соответствующая критерию Стьюдента 0,77, при $\alpha=0,05$), что свидетельствует о низкой прогностической способности модели в срав-

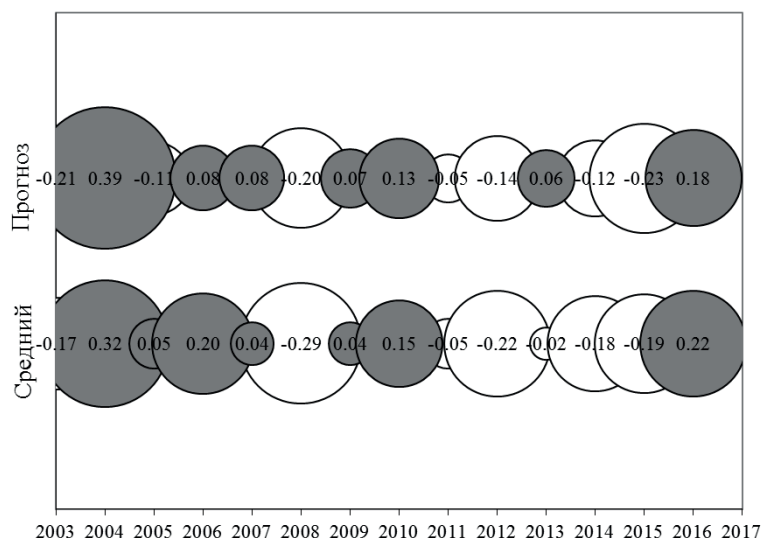


Рис. 6. Величины отклонений логарифмов (серые круги — положительные, белые — отрицательные) моделируемой биомассы в году t от ее прогнозных значений в году $t-1$ (прогноз) и среднепогодного значения за предыдущие три года ($t-1, t-2, t-3$) (средний).

нении с простым усреднением величин биомассы за предыдущие три года.

Таким образом, производственная модель в настоящее время не может являться точным аналитическим инструментом для прогноза динамики биомассы и расчета ОДУ, однако может выполнять компиляторную функцию, нормируя различные индексы биомассы для оценки динамики биомассы на всем протяжении временного ряда.

ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие строгой (основанной на промыслово-биологических данных) аналитической оценки запаса северной креветки в Баренцевом море обусловлено несколькими объективными причинами, указанными ниже.

1) За последние 30 лет уровень ежегодной эксплуатации оценивается РГ NIPAG на уровне 1–3% от величины промыслового запаса. В тоже время, межгодовая вариативность индекса запаса, оцененного по экосистемной съемке, существенно меняется (в среднем 25%), что говорит о существенной изменчивости межгодового пополнения и, возможно, естественной смертности. С позиций теории промышленного рыбо-

ловства такой низкий уровень эксплуатации не может существенно влиять на состояние запаса, по сравнению с пополнением и естественной убылью. То есть фактически, отсутствие в системе «запас-промысел» компоненты «промысел» ставит под сомнение использование аналитических моделей, в том числе и производственных, основанных на взаимодействии этих двух компонент.

2) Кросс-корреляция временных рядов индексов запаса по стратам и районам экосистемных съемок 2004–2019 гг. показала в основном не значимую слабую положительную и отрицательную связь, что говорит об отсутствии динамической связи между локальными скоплениями всей популяции. Отсутствие таких взаимосвязей в различных частях обширного ареала (около 1,5 млн км²) свидетельствует о наличии нескольких «центров воспроизводства», которые осуществляют независимое пополнение промысловых скоплений, что было показано ранее в работах авторов (Брызгин, 1980; Беренбойм, 1992). Такая особенность может, например, привести к неверной интерпретации результатов оценки с использованием простых производственных моделей при интенсивной эксплуатации запаса на отдельных промыс-

ловых скоплениях. В таких случаях может наблюдаться перелом на локальных участках и снижение промысловой активности на фоне удовлетворительной оценки общего состояния запаса.

3) При оценке прогностической способности производственной модели (за последние 15 лет) было выявлено, что сумма квадратов отклонений моделируемой биомассы в году t от ее прогнозных значений в году $t-1$ оказалась несколько меньше суммы квадратов отклонений моделируемой биомассы в году t от среднемноголетнего значения за предыдущие три года. Однако разница в показателях статистически не значима, что свидетельствует о низкой прогностической ценности модели в сравнении с простым усреднением величин биомассы за предыдущие три года.

Таким образом, производственная модель в настоящее время не может являться точным аналитическим инструментом для прогноза динамики биомассы и расчета возможного изъятия, однако может выполнять компилятивную функцию, нормируя различные индексы биомассы для оценки динамики биомассы на всем протяжении временного ряда. В то же время, существуют подходы для оценки состояния запасов, которые не требуют использования популяционной модели (Буяновский, 2019). Для таких запасов, для которых доступны только общие биологические данные и/или данные о вылове, существуют несколько стандартных критериев, на которых можно основывать рекомендации. При этом состояние запаса должно оцениваться в контексте требований менеджмента для обеспечения долгосрочной устойчивой эксплуатации, а предоставляемые рекомендации должны соответствовать предосторожному подходу. Обычно представляются несколько графиков для одной или нескольких научно-исследовательских съемок на максимально длительном периоде времени:

а) временные тренды индексов численности (биомассы) по съемкам;

б) диапазон, отражающий размерный или возрастной состав нерестового запаса;

в) диапазон, отражающий размерный или возрастной состав промыслового запаса;

г) индекс пополнения;

д) показатель промысловой смертности, выраженный, например, как отношение вылова к индексу промыслового запаса.

е) временной тренд состояния запаса и промысла относительно ориентиров управления.

В качестве информационного обеспечения для запаса северной креветки Баренцева моря в настоящее время доступны один временной тренд (экосистемная съемка 2004–2019 гг.), отражающий состояние всей популяции, и два локальных тренда производительности промысла российских и норвежских судов, которые при определенных допущениях также характеризуют состояние промыслового запаса. Для примера, демонстрирующего оценку состояния запаса без использования аналитической модели, воспользуемся данными экосистемной съемки и статистикой вылова. Рассмотрим наиболее информативный график из вышеуказанного списка — состояния запаса и промысла относительно ориентиров управления. При этом индекс промыслового запаса расположим на оси абсцисс, а коэффициент эксплуатации (отношение вылова к индексу запаса) по оси ординат. Выбор целевого ориентира по биомассе (I_{tr}) на векторе индекса, рассчитанного по съемке, может быть основан на двух принципах:

1) теории равновесной производственной кривой;

2) практическом опыте эксплуатации.

В первом случае допускается, что в истории исследования запаса был период с максимальным индексом (I_{max}), когда величина биомассы приблизительно соответствовала уровню емкости среды (K). Согласно производственному подходу (Schaefer, 1954) максимальный устойчивый вылов (MSY) может быть достигнут при уровне биомассы (B_{MSY}), приблизительно равном половине емкости среды ($0,5K$). Отсюда целевой ориентир может быть рассчитан как $I_{tr} = 0,5 \times I_{max}$.

Во втором случае I_{tr} может рассчитываться на основе принципа практической

уверенности (Вентцель, 2003) как средний показатель запаса за определенный период, когда запас находился на достаточно высоком уровне, но при этом испытывал сравнительно высокие промысловые нагрузки, экспертно оцениваемые на уровне F_{MSY} (ICES, 2012 а, 2012 б). Как правило, если в истории эксплуатации запаса отсутствует стадия перелова, то в качестве ориентира выбирается средний I_{mean} за весь период промысла.

Учитывая вышеизложенное, целевой ориентир, основанный на динамике индекса по съемке (табл. 2), можно принять равным:

$$1) I_{tr} = 0,5 I_{max} = 391 \text{ тыс. т.};$$

$$2) I_{tr} = I_{mean} = 502 \text{ тыс. т.}$$

С учетом того, что в период экосистемной съемки 2004–2019 гг. эксплуатация запаса находилась на низком уровне (Hvingel, 2019) второй вариант расчета целевого ориентира кажется менее предпочтительным. Выбор граничного ориентира по биомассе (I_{lim}) при низком информационном уровне обеспечения может быть также основан на нескольких подходах. Например, при отсутствии в истории промысла стадии

перелова запаса, а также в случаях, когда за период наблюдений запас эксплуатировался при широком диапазоне значений индексов биомассы, в качестве граничного ориентира может быть принято наименьшее наблюдаемое значение производительности промысла — I_{min} (Бабаян, 2000). Однако в нашем случае предпочтительней использовать подход, который используется при оценке запаса по продукционной модели. Такой способ количественного определения граничного ориентира как доли от неэксплуатируемого «девственного» запаса (K) был предложен в документе FAO (1993) на основании обобщенного анализа соотношений запаса — пополнения для 91 запаса рыб Северной Атлантики и Европы. Было установлено, что величина B_{lim} для запасов со средним уровнем информационного обеспечения может быть установлена на уровне 20% от величины неэксплуатируемого запаса, т.е. $I_{tr} = 0,2 \times I_{max} = 156$ тыс. т.

Таким образом, ориентиры управления по биомассе для запаса северной креветки Баренцева моря могут выглядеть следующим образом: целевой $I_{tr} = 391$ тыс. т и граничный $I_{lim} = 156$ тыс. т (рис. 7).

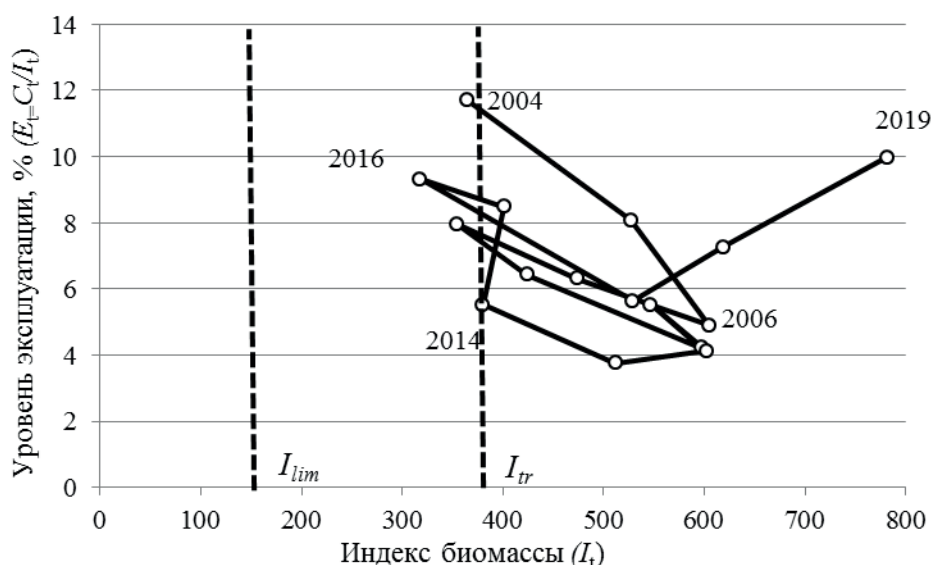


Рис. 7. Ежегодное соотношение индекса биомассы (I_t) с ежегодным уровнем эксплуатации (E_t) в 2004–2019 гг. в зональном представлении области управления для запаса северной креветки в Баренцевом море.

В международной практике при обосновании схем регулирования для запасов с низким или среднем уровнем информационного обеспечения довольно часто ограничиваются определением одного типа ориентиров управления, характеризующих состояние запаса (B_{lim} , B_{tr}). Однако при наличии достоверных данных не только об индексах, но и о величине ежегодного вылова (C) возможно определение ориентиров, характеризующих интенсивность промысла в терминах промыслового усилия. Интенсивность промысла, или уровень эксплуатации, (E) может выражаться через отношение ежегодного вылова (C_t) к ежегодной оценке индекса (I_t). Методы определения целевого уровня эксплуатации (E_{tr}) основаны на историческом анализе соотношений показателей состояния запаса и промысла, при котором запас находился на достаточно высоком уровне, и интенсивность промысла была высока, но в то же время такой режим эксплуатации впоследствии не привел к перелову. Среднепогодный уровень эксплуатации ($E=C/I$) в этот период принимается за целевой уровень эксплуатации. В случае с баренцевоморским запасом северной креветки период интенсивной эксплуатации наблюдался до периода экосистемной съемки (2004–2019 гг.), а именно в 1982–1984 гг. В этом случае для выбора целевого ориентира необходимо использовать весь ряд наблюдений, а состояние запаса оценивать на основе обобщенного российского-норвежского СРУЕ. Используя более поздний период (2004–2019 гг.), когда уровень эксплуатации находился на весьма низком уровне, допустимо отказаться от оценки целевого уровня изъятия и использовать метод «адаптивного» управления (Бабаян, 2000). Суть метода заключается в планомерном изменении степени промысловой эксплуатации популяции, в зависимости от биологических и экономических откликов, чтобы найти наилучший количественный выбор эмпирическим методом проб и ошибок. С учетом того, что в 2019 г. индекс запаса находился на максимальном уровне, рабочая группа NIPAG в конце 2019 г. пересмотрела

свои рекомендации предыдущих лет (вылов не более 70 тыс. т) и оценила возможное изъятие на уровне не более 150 тыс. т. При этом, несмотря на существующую оценку запаса по аналитической модели, рекомендации NIPAG по уровню изъятия фактически соответствуют адаптивному подходу, так как формальное правило регулирования промысла отсутствует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка запаса северной креветки в Баренцевом море в настоящее время связана с рядом трудностей, обусловленных как экологическими особенностями запаса, так и характером организации промысла. Абсолютная оценка запаса, выполненная с помощью продукционной модели, в целом зависит не от исходных данных, а от наших экспертных соображений о емкости среды. Это объясняется, прежде всего, незначительным воздействием промысла на запас при существенной межгодовой изменчивости величины запаса по естественным причинам. Кроме того, существенная пространственная изменчивость ареала с многочисленными промысловыми скоплениями затрудняет моделирование запаса как единой популяции в системе «запас-промысел». Кросс-корреляция временных рядов индексов запаса по локальным районам Баренцева моря показала отсутствие динамической связи между локальными скоплениями единого запаса. Отсутствие таких взаимосвязей в различных частях обширного ареала свидетельствует о наличии нескольких «центров воспроизводства», которые осуществляют независимое пополнение промысловых скоплений. Такая особенность может, например, привести к неверной интерпретации результатов оценки с использованием простых продукционных моделей при интенсивной эксплуатации запаса на отдельных промысловых скоплениях. Кроме того, продукционная модель в настоящее время не может являться точным аналитическим инструментом для прогноза динамики биомассы и расчета ОДУ северной

креветки Баренцева моря и в большей степени выполняет компилятивную функцию, нормируя различные индексы для оценки общей динамики биомассы на всем протяжении временного ряда.

В то же время возможен отказ от использования аналитической модели в пользу трендовых методов без серьезного ущерба для научных рекомендаций, а также с учетом основных районов обитания креветки отдельно. При этом состояние запаса может оцениваться в контексте требований менеджмента для обеспечения долгосрочной устойчивой эксплуатации, а предоставляемые рекомендации вырабатываются на основе предосторожного подхода и парадигмы максимального устойчивого улова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В. К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): анализ и рекомендации по применению. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.

Баканев С. В. Стандартизация производительности промысла камчатского краба в российских водах Баренцева моря в 2010–2018 гг. с помощью обобщенной линейной модели // *Вопр. рыболовства*. 2019. Т. 20. № 3. С. 363–373.

Беренбойм Б. И. Северная креветка (*Pandalus borealis*) Баренцева моря (биология и промысел). Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1992. 136 с.

Брызгин В. Ф. *Pandalus borealis* Баренцева моря. Экология и структура вида // Физико-химические условия формирования биологической продукции Баренцева моря: Апатиты. Кольский филиал АН СССР. 1980. С. 93–106.

Буяновский А. И. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. 221 с.

Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учебник для студ. вузов. 9-е изд., стер. М.: Академия. 2003. 576 с.

Рикер У. Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей рыб/

Пер. с англ. — М.: Пищевая промышленность. 1979. 408 с.

Cochran W. G. Sampling techniques. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y. 1963. 413 p.

FAO. Reference points for fisheries management: their potential application to straddling and highly migratory resources. FAO Fish. 1993. Circ. 864. 52 p.

Haddon M. Modelling and quantitative methods in fisheries. Chapman & Hall/CRC Washington, D.C. 2001. 406 p.

Hvingel C. An assessment of the shrimp (*Pandalus borealis*) stock in the Barents Sea. NAFO SCR Doc. 07/76. 2007. 16 p.

Hvingel C. Shrimp (*Pandalus borealis*) in the Barents Sea — Stock assessment, 2019. NAFO SCR Doc. 19/054. 2019. 16 p.

Hvingel C., Kingsley M. C.S. A framework to model shrimp (*Pandalus borealis*) stock dynamics and quantify risk associated with alternative management options, using Bayesian methods. ICES J. Mar. Sci. V. 63. 2006. P. 68–82.

ICES. 2012 a. ICES implementation of advice for data limited stocks in 2012. Report in support of ICES advice. ICES CM2012/ACOM: 68.

ICES. 2012 b. Report of the workshop to finalize the ICES data-limited stock (DLS) methodologies documentation in an operational form for the 2013 advice season and to make recommendations on target categories for data limited stocks (WKLIFE2). ICES CM 2012/ACOM: 79.

ICES. 2019. NAFO/ICES *Pandalus* Assessment Group Meeting, 08 to 13 November 2019 Havforskninginstituttet (IMR), Tromsø, Norway. ICES CM 2019 /FRSG1:84. 70 p.

NAFO Precautionary Approach Framework. Report of the PA Working Group. Serial No. N5069, NAFO/FC Doc. 04/18. 2004. 5 p.

Punt A., Hilborn R. Fisheries stock assessment and decision analysis: the Bayesian approach. Reviews in Fish Biology and Fisheries, V.7. 1997. P. 35–63.

- Olsen E., Gjosæter H., Røttingen I., Dommasnes A., Fossum P., Sandberg P. The Norwegian ecosystem-based management plan for the Barents Sea // ICES J. Mar. Sci. 2007. V. 64: 599–602.
- Schnute, J.T. A General Framework for Developing Sequential Fisheries Models // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1994. V. 51. P. 1676–1688.
- Schaefer M.B. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries // Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 1954. V. 1 (2). P. 25–56.

MODERN CHALLENGES OF THE NORTHERN SHRIMP STOCK ASSESSMENT IN THE BARENTS SEA

© 2020 y. S. V. Bakanev

Polar branch of The Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Murmansk, 183038

The paper describes current state of the northern shrimp stock assessment in the Barents Sea, as well as challenges in estimating total fishable biomass, carrying capacity and maximum sustainable yield. A comparative analysis of the results was carried out under various adjustments of the production model, including those used at the Joint NAFO/ICES Pandalus Assessment Working Group (NIPAG). The absolute stock assessment, as well as TAC assessment, as a derivative of the stock and its growth rate, in whole, depend not on the input data, but on our expert considerations about carrying capacity. This could be explained, primarily, by insignificant fishery impact on the stock against substantial interannual variation of the stock due to natural reasons. Besides, significant spatial variability of the area with numerous commercial aggregations complicates the stock modeling as a single population within stock-fisheries system. At the same time, it is possible to use trends methods instead of the analytical model without serious harm to scientific advice. In this case, the stock status could be assessed in the context of management requirements to ensure long-term sustainable exploitation, and the advice is provided based on a precautionary approach and maximum sustainable yield framework.

Key words: Northern shrimp, Barents Sea, stock assessment, production model, Bayesian approach

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

УДК 519.9

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЧАСТИЦ ПРИ БАЙЕСОВСКОМ ОЦЕНИВАНИИ
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ЧИСЛЕННОСТИ И УЛОВОВ ПО ВОЗРАСТАМ**

© 2020 г. И. И. Шевченко

*Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного
хозяйства и океанографии (ТИНРО), Владивосток, 690091*

E-mail: igor.shevchenko@tinro-center.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

Добавление случайных аддитивных ошибок в уравнения когорт и уловов, которые записаны в логарифмической форме, позволяют представить динамику логарифмов численности (ненаблюдаемых состояний) в виде скрытых марковских процессов первого порядка, где в качестве наблюдений выступают логарифмы уловов. Для таких моделей целесообразно рассматривать задачи байесовского (оптимального) оценивания, которые заключаются в построении функций плотности распределения вероятностей состояний при полученных наблюдениях. Решение уравнений, которым удовлетворяют искомые плотности, в аналитическом виде возможно только для ограниченного класса моделей (линейных гауссовских). При использовании методов Монте-Карло замкнутая форма вычислений заменяется на формирование выборок с соответствующими распределениями и их статистическую обработку. Поскольку получать напрямую выборки анализируемых случайных величин практически невозможно, используются приближенные последовательные вычисления и вспомогательные распределения. В работе описываются некоторые алгоритмы байесовского оценивания временных рядов численности и уловов по возрастам с последовательным применением методов частиц. Пакет Fishmetica пополнен соответствующими функциями. Влияние количества частиц на параметры результирующих апостериорных плотностей проиллюстрированы расчетами в среде Julia для тестового набора данных при различном количестве используемых частиц.

Ключевые слова: оценка промысловых запасов, пространство состояний, скрытые марковские сети, метод частиц, последовательное оценивание с учетом значимости, фильтрация, предсказание, сглаживание.

ВВЕДЕНИЕ

При оценке промысловых запасов модели в пространстве состояний используются для того, чтобы учесть ошибки обработки и наблюдений при анализе доступных временных рядов. В типичных информационных ситуациях модели строятся, например, по рядам уловов и учетных съемок (индикаторов численности). Параметры модели и состояния могут оцениваться одновременно в результате максимизации критерия правдоподобия, а при построении моделей, как правило, предполагается нормальность невязок (Schnute, 1994; Valpine,

Nilborn, 2005; Aldrin et al., 2019; Nielsen, Berg, 2019).

Автором (Шевченко, 2017; 2019) описана методика для сопоставления когортам скрытых марковских моделей по накопленным временным рядам численности и уловов по возрастам. Для этого в уравнения когорты и уравнения Баранова, представленные в логарифмической форме, добавляются аддитивные ошибки, которые имеют плотности распределения Гаусса или Лапласа. Параметры зависимостей, которые описывают коэффициенты естественной и промысловой смертности, и параметры плотностей распре-

деления невязок рассчитываются с использованием метода максимального правдоподобия. В качестве состояний выступают логарифмы численности ξ^a , а в качестве наблюдений — логарифмы уловов η^a в возрасте a , $a \in a^b : a^c$, где a^b — минимальный, а a^c — максимальный возраст особей, входящих в когорту. Модифицированные уравнения когорты задают стохастические динамические процессы, а уравнения Баранова — правдоподобие наблюдений. В рамках байесовского подхода вся информация о скрытых состояниях ξ^a при полученных наблюдениях η^a определяется апостериорными плотностями вида $P(\xi^{a^x} | \eta^{a^b}, \dots, \eta^{a^y})$, $a^x, a^y \in a^b : a^c$. В задачах фильтрации (реконструирования состояний по наблюдениям, доступным на текущий момент), предсказания (предварительная оценка состояний по наблюдениям, доступным на текущий момент) и сглаживания (реконструирования состояний по всем доступным наблюдениям) требуется оценивать эти плотности при определенных значениями a^x и a^y .

За исключением специальных случаев (линейных гауссовских моделей) апостериорные байесовские распределения не могут быть оценены аналитически. Поэтому с середины 1960-х годов предпринимались попытки построения аппроксимаций для таких распределений. В 1970-х годах разрабатывались разнообразные алгоритмы с применением методов Монте-Карло, но они не были востребованы до момента появления высокопроизводительной вычислительной техники в 1980-х годах. В последующий период основные усилия направлялись на развитие приближенных методов для случаев нелинейных и/или негауссовских моделей (Gordon et al., 1993; Kitagawa, 1996; Hürzeler, Künsch, 1998; Russell, Norvig, 2010; Godsill et al., 2004; Särkkä, 2013).

В работе приводятся алгоритмы, предназначенные для проведения последовательного численного оценивания апостериорных плотностей при фильтрации, предсказании и сглаживании с использованием методов частиц. Пакет Fishmetica был дополнен соответствующими функциями. Приведены примеры расчетов в среде Julia байесовских оценок апо-

стериорных распределений с использованием временных рядов из первого тестового набора данных из ВНИРО для программ, применяемых в институтах отрасли при моделировании динамики запасов. Построены графики байесовских оценок логарифмов численности, значений параметров, гистограмм и плотностей распределений. Продемонстрировано влияние количества используемых частиц на параметры результирующих апостериорных плотностей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Рассматриваются промысловые запасы, для которых проведено оценивание численности и уловов за некоторое количество последовательных промысловых сезонов. Для извлечения информации из соответствующих временных рядов возможно использование моделей, которые базируются на стохастических вариантах уравнений когорт и уловов. Для таких моделей описана методика определения параметров с применением критериев максимального правдоподобия при некоторых предположениях о виде зависимостей коэффициентов естественной и промысловой смертности, а также о типах распределений невязок (Шевченко, 2017). В статье И.И. Шевченко (2019) для моделей когорт в виде байесовских сетей приведены уравнения, которым удовлетворяют апостериорные плотности при фильтрации, предсказании и сглаживании. Для случая линейных гауссовских моделей переходов и наблюдений для этих уравнений можно получить решения в аналитической форме. Для того чтобы проводить байесовское оценивание в общем случае, последовательно применяется метод Монте-Карло: формируются выборки, которые имеют распределения, приближающие целевые, и проводится их статистическая обработка. В данном разделе приводятся основные предположения, описываются методика параметрической идентификации и некоторые алгоритмы последовательного байесовского оценивания временных рядов численности и уловов по возрастам с применением методов частиц.

Параметрическая идентификация

Пусть x_i^j и y_i^j — заданные оценки численности и выловов в год t в зависимости от возраста рыб j , где численность измеряется в штуках, а уловы в весовых единицах, и w_i^j — коэффициент для пересчета весовых единиц измерений в штуки, t_{max} — число последовательных лет, для которых доступны данные наблюдений, j_{max} — принятый предельный учетный возраст популяции. Через m_i^j и f_i^j обозначаются коэффициенты естественной и промысловой смертности, а через z_i^j и g_i^j — производные коэффициенты полной смертности и пересчета уловов, который определяет долю возрастной группы в улове. При использовании уравнений когорты и уловов в качестве описания механизмов взаимосвязи численности и уловов модель полностью определяется матрицами коэффициентов m и f . Для их оценивания можно использовать имеющиеся временные ряды, которые представляются с использованием матриц x , y и w . Однако количество элементов неизвестных и доступных матриц практически совпадает. Для того чтобы избавиться от переопределенности и сократить количество неизвестных параметров, считается, что каждый коэффициент естественной смертности m_i^j представим в виде произведения когортного фактора h_i^j , который является оценкой неблагоприятности условий выживания когорты возраста j в год t , и составляющей, зависящей исключительно от возраста m^j , который задается в виде U-образной функции. Коэффициент промысловой смертности f_i^j вычисляется как произведение возрастной селективности лова s^j , которая описывается некоторой сигмоидой, и доли f_i , определяющей скорость убыли численности (интенсивность промысла). Ряд наблюдений динамики промыслового запаса за t_{max} лет с максимальным возрастом j_{max} содержит данные о $(t_{max} + j_{max} - 1)$ когортах. С каждой такой когортой связывается физический год yr , который соответствует возрасту в один год входящих в нее рыб. Через a_{yr}^b и a_{yr}^c обозначаются начальные и конечные возрастные классы соответствующей когорты C_{yr} . Она

описывается заданными значениями численности X_{yr}^a , уловов Y_{yr}^a , весов W_{yr}^a , и с ней связаны рассчитываемые коэффициенты естественной M_{yr}^a и промысловой F_{yr}^a смертности, а также коэффициенты полной смертности Z_{yr}^a и пересчета уловов G_{yr}^a для возрастного класса, $a \in a_{yr}^b : a_{yr}^c$. Имеется взаимно однозначное соответствие между исходным (матричными: x_i^j, y_i^j и т.д.) и когортными (векторными: X_{yr}^a, Y_{yr}^a и т.д.) представлениями.

Обозначим через ξ_{yr}^a и η_{yr}^a случайные величины, определяющие значения логарифмов численности и уловов соответственно. Если граничные условия заданы при $a = a_{yr}^b - 1$, динамику ξ_{yr}^a и η_{yr}^a можно представить в виде байесовской сети, структура которой изображена на рис. 1. Стохастические варианты уравнения когорты

$$\xi_{yr}^{a+1} = \xi_{yr}^a - Z_{yr}^a(\theta_m) + \omega(\theta_x) \quad (1)$$

определяют модели перехода, а уравнения Баранова

$$\eta_{yr}^a = \xi_{yr}^a - \ln W_{yr}^a - \ln G_{yr}^a(\theta_m) + \nu(\theta_y) \quad (2)$$

модели наблюдения, где вектор θ_m включает неизвестные параметры модели h_i^j, m^j, s^j и f_i , а θ_x и θ_y — это векторы параметров функций плотностей распределений случайных величин ω и ν .

В предположении о лапласовском или гауссовском распределениях ω и ν оптимальные векторы параметров модели динамики $\theta_m = \hat{\theta}_m$ и параметров распределений $\theta_x = \hat{\theta}_x$ и $\theta_y = \hat{\theta}_y$ могут быть оценены с применением метода максимального правдоподобия, (Шевченко, 2017). Будем в дальнейшем использовать следующие обозначения: $\hat{Z}_{yr}^a = Z_{yr}^a(\hat{\theta}_m)$, $\hat{G}_{yr}^a = G_{yr}^a(\hat{\theta}_m)$, $\hat{\omega} = \omega(\hat{\theta}_x)$, $\hat{\nu} = \nu(\hat{\theta}_y)$, $a \in a_{yr}^b : a_{yr}^c$.

Последовательное байесовское оценивание с использованием методов частиц

Пусть yr_1 — первый физический год наблюдения, $yr_0 = yr_1 - j_{max} + 1$, $yr_2 = yr_1 + t_{max} - j_{max} + 1$, $yr_3 = yr_1 + t_{max} - 1$, (Шевченко, 2017). Зафиксируем исследуемую когорту C_{yr} , $yr \in yr_0 : yr_3$, и будем опускать ин-

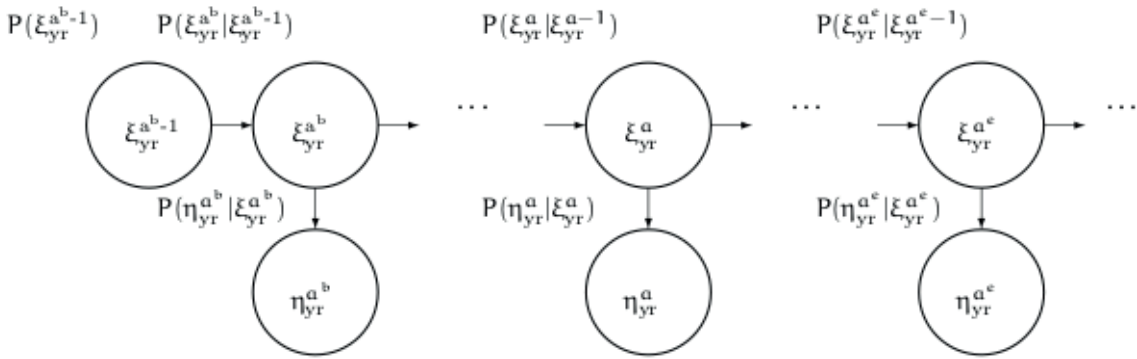


Рис. 1. Динамическая байесовская сеть для когорты C_{yr} .

декс yr во всех обозначениях, относящихся к ней. Функция плотности случайной величины ξ обозначается как $\rho(\xi)$ или ρ_ξ . Значение $\rho_\xi(\xi = x)$ функции плотности вероятности некоторой случайной величины ξ в точке x обозначается как $P(\xi = x)$ или $P(x)$, если очевидно, что речь идет именно о ξ . В аналогичных ситуациях применяются упрощенные обозначения для условных вероятностей случайных величин (при задании значений других случайных величин), например:

$$P(x^a | y^a) = P(\xi = x^a | \eta^a = y^a),$$

$$P(x^a | y^{a^b:a}) = P(\xi = x^a | \eta^{a^b} = y^{a^b}, \dots, \eta^a = y^a). \quad (3)$$

Уравнения перехода и наблюдений (1) и (2) с подставленными значениями $\theta_m = \hat{\theta}_m$, $\theta_x = \hat{\theta}_x$ и $\theta_y = \hat{\theta}_y$, которые получены с применением метода максимального правдоподобия, в общем случае записываются как

$$\xi^{a+1} = f^a(\xi^a, \hat{\omega}), \quad a \in a^b : a^c - 1, \quad (4)$$

$$\eta^a = h^a(\xi^a, \hat{\nu}), \quad a \in a^b : a^c, \quad (5)$$

где $f^a : R \times R \rightarrow R$, $h^a : R \times R \rightarrow R$, $\hat{\omega}$, $\hat{\nu}$ — независимые от ξ, η и друг от друга случайные величины с известными плотностями распределения $P(\hat{\omega})$ и $P(\hat{\nu})$. Плотность начального распределения обозначается как $P(\xi^{a^b-1})$.

Для любой выбранной когорты соответствующие уравнения (1) и (2) после подстановок записываются как

$$\xi^{a+1} = \xi^a - \hat{Z}^a + \hat{\omega}, \quad (6)$$

$$\eta^a = \xi^a - \ln W^a - \ln \hat{G}^a + \hat{\nu}. \quad (7)$$

Стохастические модели переходов и наблюдений (4) и (5) задают марковские последовательности с условными плотностями

$$\begin{aligned} P(\xi^{a+1} | \xi^a) &= \\ &= \int \delta(\xi^{a+1} - f^a(\xi^a, w^a)) \rho(w^a) dw^a, \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\eta^a | \xi^a) &= \\ &= \int \delta(\eta^a - h^a(\xi^a, v^a)) \rho(v^a) dv^a, \quad (9) \end{aligned}$$

где $\delta(\cdot)$ — функция Дирака¹, поскольку, например,

$$\begin{aligned} P(\xi^{a+1} | \xi^a) &= \\ &= \int P(\xi^{a+1} | \xi^a, w^a) \rho(w^a | \xi^a) dw^a, \quad (10) \end{aligned}$$

значение w^a не зависит от ξ^a , а значение ξ^{a+1} при известных ξ^a, w^a вычисляется по (4).

Обратная статистическая задача состоит в оценивании скрытых состояний при условии, что заданы результаты наблюдений. В байесовском контексте это означает вычисление совместных апостериорных распределений всех состояний при полученных измерениях, например, оценивание распределений $P(\xi^{a^b-1:a} | y^{a^b:a})$, $a \in a^b - 1 : a^c$. Недостаток этого подхода заключается в том, что когда добавляются новые наблюдения, оценку тре-

¹ Используется фильтрующее свойство функции: $\int f(x) \delta(x-x_0) dx = f(x_0)$.

буется полностью пересчитывать. Поэтому приходится отказываться от полного апостериорного оценивания в пользу оценки более простых распределений.

Рассмотрим три задачи оценивания распределений численности ξ^{a^x} при известных значениях уловов $\eta^{a^b:a^y} = y^{a^b:a^y}$, где $a^x = a^y = a^f \in a^b - 1 : a^c$ для фильтрации, $a^x = a^c + k, a^c < j_{max}, k \in 1 : j_{max} - a^c, a^y = a^c$ для предсказания и $a^x = a^s \in a^b - 1 : a^c, a^y = a^c$ для сглаживания.

Фильтрация

При фильтрации оценивается плотность распределения $\xi^a | y^{a^b:a}$, $a \in a^b - 1 : a^c$. Для того чтобы сформировать рекуррентные (последовательные) соотношения для плотности распределения случайной величины $\xi^{a+1} | y^{a^b:a+1}$, можно воспользоваться выражением

$$\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a+1}) = \frac{\rho(y^{a+1} | \xi^{a+1})\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a})}{\rho(y^{a+1} | y^{a^b:a})}, \quad (11)$$

где плотности $y^{a+1} | \xi^{a+1}$ определяются моделями наблюдения, а плотности одношагового предсказания $\xi^{a+1} | y^{a^b:a}$ и знаменатель (11) рассчитываются как маргинальные (остаточные) плотности:

$$\begin{aligned} \rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a}) &= \\ &= \int \rho(\xi^{a+1} | x^a)\rho(x^a | y^{a^b:a})dx^a, \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho(y^{a+1} | y^{a^b:a}) &= \\ &= \int \rho(y^{a+1} | x^{a+1})\rho(x^{a+1} | y^{a^b:a})dx^{a+1}. \quad (13) \end{aligned}$$

Выборки случайных величин могут генерироваться с использованием их плотностей распределения, а по выборке можно приближенно восстановить плотность распределения (как гистограмму). Поскольку аналитические вычисления плотностей апостериорных вероятностей возможны только для специальных случаев, используются рекуррентные процедуры, которые по выборкам априорных позволяет получать выборки апостериорных величин.

Пусть $\{z_i^a\}_{i \in 1:N}$ — выборка из $N > 0$ значений случайной величины, которая имеет плотность распределения, аппроксимирующую $\rho(\xi^a | y^{a^b:a})$. Рассмотрим задачу генерирования выборки $\{z_i^{a+1}\}_{i \in 1:N}$ из N значений случайной величины $\xi^{a+1} | y^{a^b:a+1}$, которая имеет плотность распределения, аппроксимирующую $\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a+1})$. Ее можно решать, например, с использованием повторных выборок на основе значимости, когда в качестве предварительного распределения выступает одношаговое предсказание (12), а в качестве инструментального — распределение наблюдения (9) (Särkkä, 2013). Процедура генерации начинается при $a = a^b - 1$ с выборки $\{z_i^{a^b-1}\}_{i \in 1:N}$ по распределению $\rho(\xi^{a^b-1})$. На $(a+1)$ -ом шаге, $(a+1) \in a^b : a^f$, для каждого $i \in N$ по z_i^a сначала генерируется элемент \underline{z}_i^{a+1} через уравнение состояния так, что если с использованием плотности распределения $\rho(\hat{\omega})$ выбрано значение w_i^a , то (см. (4))

$$\underline{z}_i^{a+1} = f^a(z_i^a, w_i^a). \quad (14)$$

Ясно, что величины \underline{z}_i^{a+1} с правдоподобием $l_i^{a+1} = \rho(\underline{z}_i^{a+1} | z_i^a) = \rho((f^a)^{-1}(\underline{z}_i^{a+1} | z_i^a))$ независимо распределены с плотностью $\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a})$. Затем по модели наблюдения (9) при известном $\eta^{a+1} = y^{a+1}$ оценивается правдоподобие каждого полученного значения \underline{z}_i^{a+1} по формуле (Gordon, Salmond, 1993)

$$l_i^{a+1} = \frac{\rho(\underline{z}_i^{a+1} | y^{a^b:a})}{\sum_{j=1}^N \rho(\underline{z}_j^{a+1} | y^{a^b:a})} \quad (15)$$

или (Doucet et al., 2000)

$$l_i^{a+1} = \frac{\rho(y^{a+1} | \underline{z}_i^{a+1})\rho(\underline{z}_i^{a+1} | y^{a^b:a})}{\sum_{j=1}^N \rho(y^{a+1} | \underline{z}_j^{a+1})\rho(\underline{z}_j^{a+1} | y^{a^b:a})}, \quad (16)$$

где $\rho(y^{a+1} | \underline{z}_i^{a+1}) = \rho((h^{a+1})^{-1}(y^{a+1}, \underline{z}_i^{a+1}))$, $i \in 1:N$, $(h^{a+1})^{-1}$ — обратная к h^{a+1} функция, которая возвращает значение \hat{v} по заданным значениям ξ^{a+1} и η^{a+1} ; см. (5). На заключительном этапе генерируется выборка случайной дискретной величины, принимающей значение \underline{z}_i^{a+1} с правдоподобием l_i^{a+1} . При $N \rightarrow +\infty$ плотность ее распределения при-

ближает плотность распределения случайной величины $\xi^{a+1} | y^{a^b:a+1}$:

$$\rho(x^{a+1} | y^{a^b:a+1}) \approx \sum_{j=1}^N l_j^{a+1} \delta(x^{a+1} - z_j^{a+1}). \quad (17)$$

Описанный метод имеет вычислительную сложность $O((a^c - a^b)N)$.

Оценивание точности описанного алгоритма для конечных значений N представляет собой самостоятельную задачу (Crisan, Doucet, 2019). Для некоторых приложений на практике применялись значения N порядка 1000–10000 (Kitagawa, 1996). В процессе выполнения алгоритма может возникать проблема вырождения, когда почти все частицы имеют близкие к нулю вероятности. Она решается проведением повторной выборки. Оценка числа эффективных частиц может проводиться с использованием формулы

$$n_c^a = \frac{1}{\sum_i (l_i^a)^2}, \quad (18)$$

где l_i^a — нормализованный вес частицы i шаге a . Повторная выборка осуществляется в случаях, когда n_c^a значительно меньше N , например, $n_c^a < N/10$ (Smith, Gelfand, 1992; Gordon et al., 1993; Kitagawa, 1996; Doucet et al., 2000; Särkkä, 2013).

Предсказание

Предсказание представляет собой фильтрацию без добавления новых наблюдений и заключается в оценке распределений состояний $\xi^{a^c+k} | y^{a^b:a^c}$ для $k \in 1:j_{max} - a^c$ при $j_{max} > a^c$. Процедура для предсказания базируется на рекуррентном соотношении:

$$\begin{aligned} & \rho(\xi^{a^c+k+1} | y^{a^b:a^c}) = \\ & = \int \rho(\xi^{a^c+k+1} | x^{a^c+k}) \rho(x^{a^c+k} | y^{a^b:a^c}) dx^{a^c+k}. \quad (19) \end{aligned}$$

Пусть приближенное (эмпирическое) представление плотности одношагового предсказания на k -шаге, $k \in 1:j_{max} - a^c$, имеет вид:

$$\rho(x^{a^c+k} | y^{a^b:a^c}) \approx \sum_{j=1}^N l_j^{a^c+k} \delta(x^{a^c+k} - z_j^{a^c+k}). \quad (20)$$

Выборка на $(k+1)$ -шаге генерируется с использованием соотношения (см. (4)):

$$z_i^{a^c+k+1} = f^{a^c+k}(z_i^{a^c+k}, w_i^{a^c+k}), \quad (21)$$

где $w_i^{a^c+k}$ распределена с плотностью $\rho(\hat{w})$, а пересчет правдоподобия осуществляется по формуле:

$$\begin{aligned} l_i^{a^c+k+1} &= \frac{\rho(z_i^{a^c+k+1} | z_i^{a^c+k}) l_i^{a^c+k}}{\sum_{j=1}^N \rho(z_j^{a^c+k+1} | z_j^{a^c+k}) l_j^{a^c+k}}, \\ & i \in 1:N. \quad (22) \end{aligned}$$

Генерация по (21) и (22) начинаются с $k=0$, когда правдоподобие $\{l_i^{a^c+1}\}_{i \in 1:N}$ для $\rho(\xi^{a^c+1} | y^{a^b:a^c})$ определяется соотношением (14) для одношагового предсказания.

Другой вариант генерации может быть осуществлен через процедуру интегрирования с использованием метода Монте-Карло. Пусть $\{z_i^{a^c+k}\}_{i \in 1:N}$ — выборка из N значений случайной величины, которая имеет плотность распределения, аппроксимирующую $\rho(\xi^{a^c+k} | y^{a^b:a^c})$, с весами $\{l_i^{a^c+k}\}_{i \in 1:N}$. Нетрудно видеть, что с использованием (19) веса для $\{z_i^{a^c+k+1}\}_{i \in 1:N}$ можно пересчитывать по формуле:

$$\begin{aligned} l_i^{a^c+k+1} &= \\ &= \frac{\sum_s (\rho(z_i^{a^c+k+1} | z_{n_s}^{a^c+k}) l_i^{a^c+k} (z_{n_{s+1}}^{a^c+k} - z_{n_s}^{a^c+k}))}{\sum_j (\sum_s \rho(z_j^{a^c+k+1} | z_{n_s}^{a^c+k}) l_j^{a^c+k} (z_{n_{s+1}}^{a^c+k} - z_{n_s}^{a^c+k}))}, \quad (23) \end{aligned}$$

где $\{z_{n_s}^{a^c+k}\}_{s \in 1:N}$ есть упорядоченная по возрастанию последовательность $\{z_s^{a^c+k}\}_{s \in 1:N}$.

Сглаживание

Под сглаживанием мы понимаем оценку распределения $\xi^a | y^{a^b:a^c}$, $a \in a^b - 1 : a^c$. Процедура для сглаживания может базироваться на различных рекуррентных соотношениях. В работе И.И. Шевченко (2019) был рассмотрен случай представления сглаживания через прямую и обратную фильтрацию. Аналогично можно получить соотношение:

$$\begin{aligned} & \rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a^c}) \propto \xi^{a+1}, y^{a^b:a} \\ & \rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a}) \rho(y^{a+1:a^c} | \xi^{a+1}), \end{aligned} \quad (24)$$

где $\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a})$ представляет собой плотность одношагового предсказания, а $\rho(y^{a+1:a^c} | \xi^a)$ вычисляется в обратном направлении (от $k = a^c - 1$ до $k = a$) с использованием следующих зависимостей:

$$\begin{aligned} & \rho(y^{a^c:a^c} | \xi^{a^c}) = \rho(y^{a^c} | \xi^{a^c}), \rho(y^{k:a^c} | \xi^k) = \\ & = \rho(y^k | \xi^k) \rho(y^{k+1:a^c} | \xi^k), \rho(y^{k+1:a^c} | \xi^k) = \\ & = \int \rho(y^{k+1:a^c} | x^{k+1}) \rho(x^{k+1} | \xi^k) dx^{k+1}. \end{aligned} \quad (25)$$

Воспользуемся маргинальным соотношением:

$$\rho(\xi^a | y^{a^b:a^c}) = \int \rho(\xi^a | x^{a+1}, y^{a^b:a^c}) dx^{a+1}. \quad (26)$$

Поскольку ξ^a не зависит от $y^{a+1:a^c}$ при заданном ξ^{a+1} , с применением формулы Байеса получаем:

$$\rho(\xi^a | \xi^{a+1}, y^{a^b:a^c}) = \frac{\rho(\xi^{a+1} | \xi^a) \rho(\xi^a | y^{a^b:a})}{\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a})}. \quad (27)$$

Перепишем теперь плотность совместного распределения ξ^a и ξ^{a+1} при заданном $y^{a^b:a^c}$:

$$\begin{aligned} & \rho(\xi^a, \xi^{a+1} | y^{a^b:a^c}) = \\ & = \frac{\rho(\xi^{a+1} | \xi^a) \rho(\xi^a | y^{a^b:a})}{\rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a})} \rho(\xi^{a+1} | y^{a^b:a^c}). \end{aligned} \quad (28)$$

Таким образом, соотношение (26) может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned} & \rho(\xi^a | y^{a^b:a^c}) = \\ & = \rho(\xi^a | y^{a^b:a}) \int \frac{\rho(x^{a+1} | \xi^a) \rho(x^{a+1} | y^{a^b:a^c})}{\rho(x^{a+1} | y^{a^b:a})} dx^{a+1}. \end{aligned} \quad (29)$$

где знаменатель подынтегрального выражения рассчитывается по формуле (12).

Рассмотрим маргинальное сглаживание с использованием частиц (Hürzeler, Künsch, 1998; Godsill et al., 2004; Särkkä, 2013). Оно также называется сглаживанием через изменение весов частиц, поскольку сво-

дится к вычислению новых весов для частиц, полученных при фильтрации рассмотренным выше методом последовательной повторной выборки с учетом значимости.

Пусть вычислены пары l_i^a и \underline{z}_i^a , $a \in a^b - 1 : a^c$, $i \in 1 : N$, определяющие приближенную плотность отфильтрованного состояния. Определим новые веса $l_i^{a^c}$ для \underline{z}_i^a , $a \in a^b - 1 : a^c$, $i \in 1 : N$ для приближенной плотности сглаженного состояния следующим образом. Для $a = a^c$ полагаем

$$l_i^{a^c|a^c} = l_i^{a^c}, \quad (30)$$

а затем от $a = a^c - 1$ до $a = a^b$ вычисляем

$$l_i^{a^c|a^c} = \sum_j l_j^{a+1|a^c} \frac{l_i^a \rho(\underline{z}_j^{a+1} | \underline{z}_i^a)}{\sum_m l_m^a \rho(\underline{z}_j^{a+1} | \underline{z}_m^a)}, \quad i \in 1 : N. \quad (31)$$

Тогда получаем, что

$$\begin{aligned} & \rho(x^a | y^{a^b:a^c}) \approx \sum_{j=1}^N l_j^{a^c|a^c} \delta(x^a - \underline{z}_j^a), \\ & a \in a^b - 1 : a^c. \end{aligned} \quad (32)$$

Для того чтобы обосновать описанный алгоритм, отметим, что в силу соотношений (8) и (17) выполняется приближенное равенство:

$$\rho(x^{a+1} | y^{a^b:a}) \approx \sum_{m=1}^N l_m^a \rho(x^{a+1} | x_m^a). \quad (33)$$

Кроме того,

$$\begin{aligned} & \int \frac{\rho(x^{a+1} | x^a) \rho(x^{a+1} | y^{a^b:a^c})}{\rho(x^{a+1} | y^{a^b:a})} dx^{a+1} \approx \\ & \approx \int \frac{\rho(x^{a+1} | x^a)}{\rho(x^{a+1} | y^{a^b:a})} \sum_{j=1}^N l_j^{a+1|a^c} \delta(x^{a+1} - \underline{z}_j^{a+1}) dx^{a+1} = \\ & = \sum_{j=1}^N \tilde{l}_j^{a+1|a^c} \frac{\rho(\underline{z}_j^{a+1} | x^a)}{\rho(\underline{z}_j^{a+1} | y^{a^b:a})}. \end{aligned} \quad (34)$$

Подставив теперь выражения из соотношений (17), (33) и (34) в формулу (29), получаем приближенное равенство (32). Полагается, что $\rho(x^{a+1} | x^a) = \rho((f^a)^{-1}(x^{a+1}, x^a))$, где $(f^a)^{-1}$ — обратная к f^a функция, которая возвращает значение $\hat{\omega}$ по заданным ξ^{a+1}, ξ^a ; см. (4). Описанный метод имеет вычислительную сложность $O((a^c - a^b)N^2)$ (Hürzeler, Künsch, 1998; Godsill et al., 2004; Särkkä, 2013).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для выполнения расчетов по предложенной методике пакет Fishmetica в среде Julia был пополнен функциями для реализации фильтрации, сглаживания и предсказания временных рядов численности и уловов по возрастам с применением описанных в предыдущем разделе методов частиц. Оцененные численности каждой возрастной группы характеризуется теперь не скалярными значениями или параметрами известного распределения, а выборкой некоторого объема N из соответствующего распределения. По этим выборкам можно получать такие приближенные числовые характеристики, как средние, медианы, дисперсии и т.д., используя функции из статистического пакета StatBase.

Пробные расчеты проведены на первом из трех комплектов тестовых данных из ВНИРО для программ, применяемых в институтах отрасли при моделировании динамики запасов. Для этого комплекта в предположении о гауссовском распределении невязок результаты расчетов сравнивались со значе-

ниями параметров результирующих (также гауссовских) распределений для байесовских оценок, полученными с использованием явных соотношений из статьи И. И. Шевченко (2019).

Применение методики для отдельной когорты иллюстрируется на примере 36-й по порядку когорты, включающей рыб, которые в 1994 г. имели возраст один год ($a^b = 1, a^c = 10$). Вычисления выполнены в среде Julia с использованием различных библиотек языка Julia, включая пакет функций и типов Fishmetica (<https://github.com/picestcode/Fishmetica.jl>).

На рисунке 1 исходная динамика логарифмов численности изображена сплошной линией, отфильтрованные значения математических ожиданий численности и предсказания на три года, рассчитанные по формулам из статьи И. И. Шевченко (2019), — коротким пунктиром, а по аппроксимирующей выборке (при $N = 10000$) — длинным пунктиром. Соответствующие дисперсии и их оценки показаны на рисунке 2. Плотность распределения и гистограмма отфильтрован-

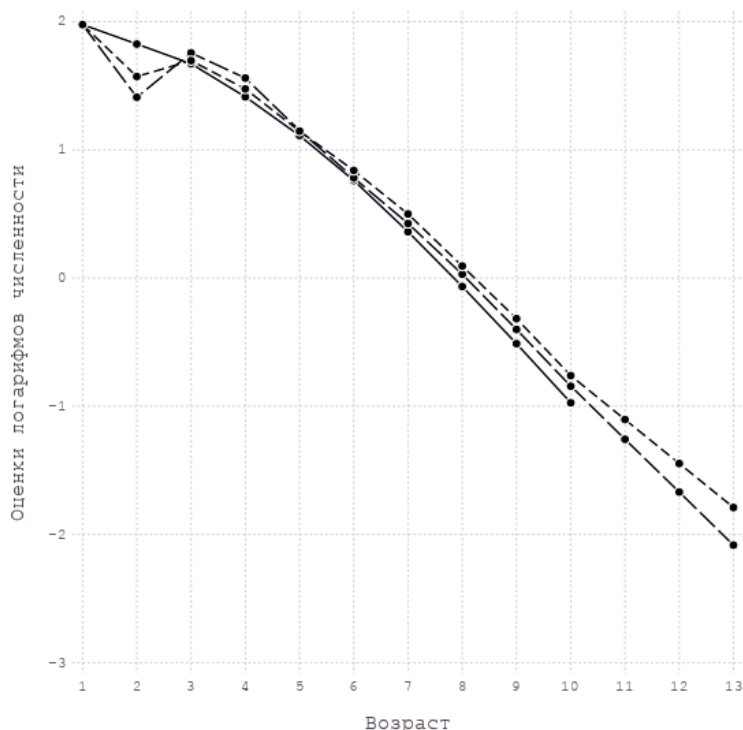


Рис. 2. Фильтрация и предсказание: исходные и средние логарифмы численности для 36-й когорты по возрастам.

ных логарифмов численности для возраста с максимальной ошибкой даны на рисунке 3.

На рисунках 5–7 приведены аналогичные величины для сглаживания.

В таблицах 1–3 собраны характеристики вычислительных процессов для случая нормальных распределений при использовании различного количества частиц N для 36-й когорты. Для каждого N приведены приближенные значения времени (t), затраченного на расчеты параметров (сек) на виртуальной машине Intel (R) Xeon (R) CPU E5–26600 @ 2.20GHz с 32 Gb памяти в Центре обработки и хранения данных Тихоокеанского филиала ВНИРО (ФГБНУ «ТИНРО»), минимальное эффективное число частиц ($min n_e$), нормы разностей математического ожидания ($|\Delta\mu|$) и дисперсии ($|\Delta\sigma^2|$) от значений, полученных по формулам из статьи И. И. Шевченко (2019). Отметим, что получаемые результаты зависят от конкретных реализаций выборок, которые генерируются в процессе вычислений с применением генераторов случайных выборок. Полученные результаты показывают, что

увеличение числа частиц порой приводит к значительному росту времени расчетов, но необязательно приводит к увеличению точности расчетов одновременно всех параметров гауссовских распределений.

На рисунке 8 показаны суммарные уловы по годам для исходных данных (сплошная линия), а также рассчитанные по соотношениям из статьи И. И. Шевченко (2019) (короткий пунктир) и с использованием метода частиц при $N = 5000$ (длинный пунктир). Время расчетов по данным для всех 45 составило 70402.68 сек на упомянутой виртуальной машине с 32 процессорами и использованием библиотеки Distributed для распараллеливания вычислений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Извлечение информации из временных рядов численности и уловов по возрастам может проводиться с использованием моделей, построенных с применением уравнений когорт и уловов, а также дополнительных предположений о зависимостях, которые опи-

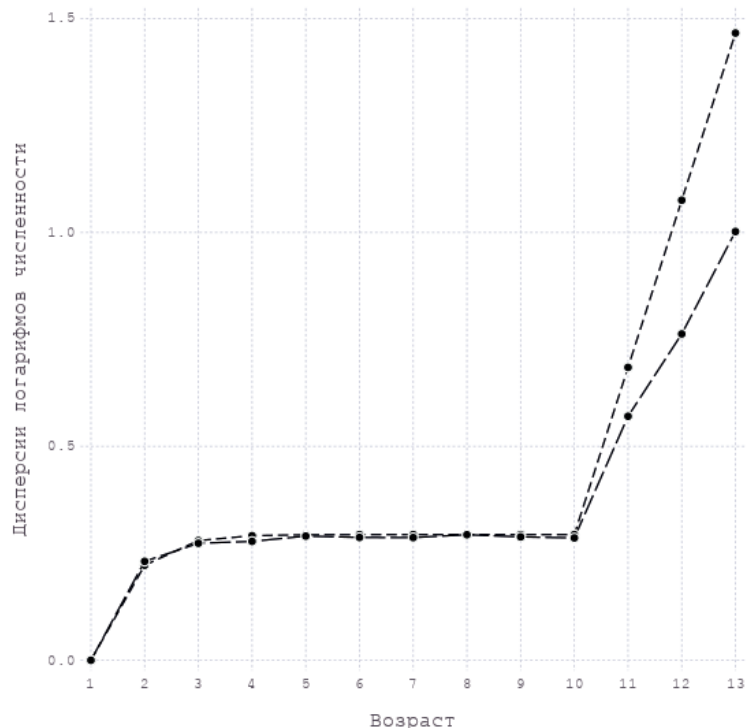


Рис. 3. Фильтрация и предсказание: дисперсии логарифмов численности для численности 36-й когорты в возрасте 7 лет.

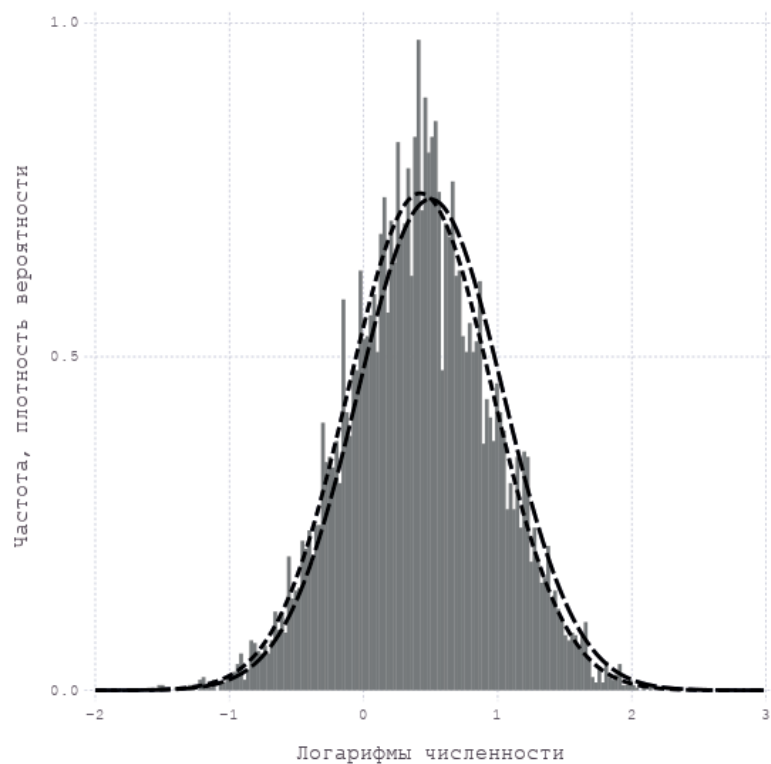


Рис. 4. Фильтрация: функция плотности вероятности и нормированная гистограмма для численности 36-й когорты в возрасте 7 лет.

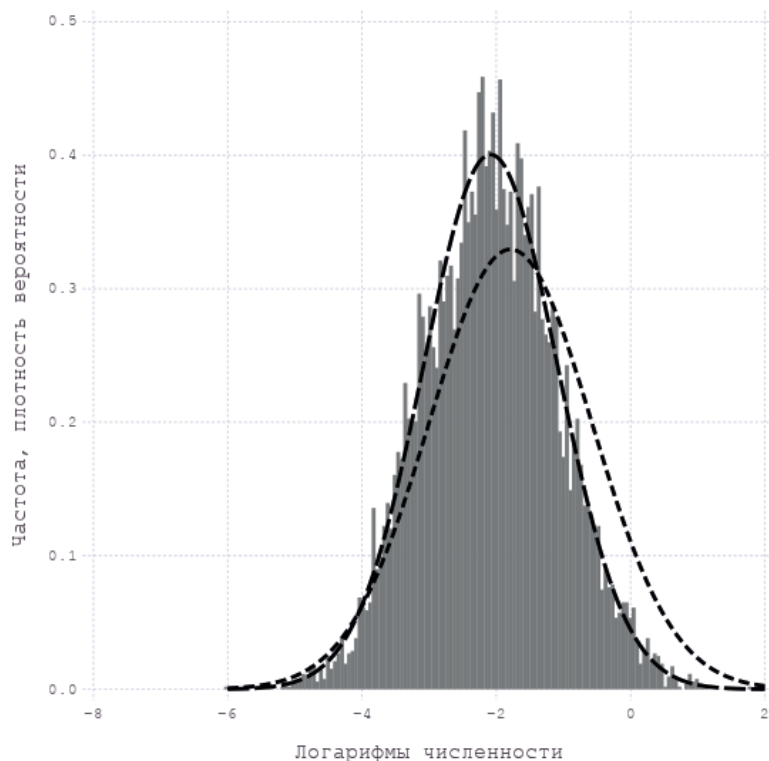


Рис. 5. Предсказание: функция плотности вероятности и нормированная гистограмма для оценки численности 36-й когорты через 3 года.

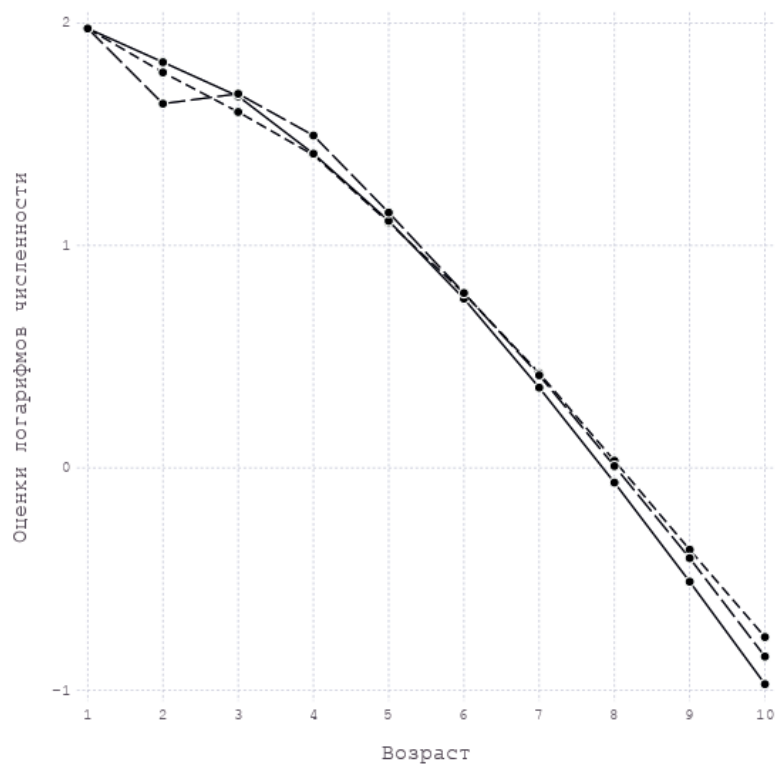


Рис. 6. Сглаживание: исходные и средние логарифмы численности для 36-й когорты по возрастам.

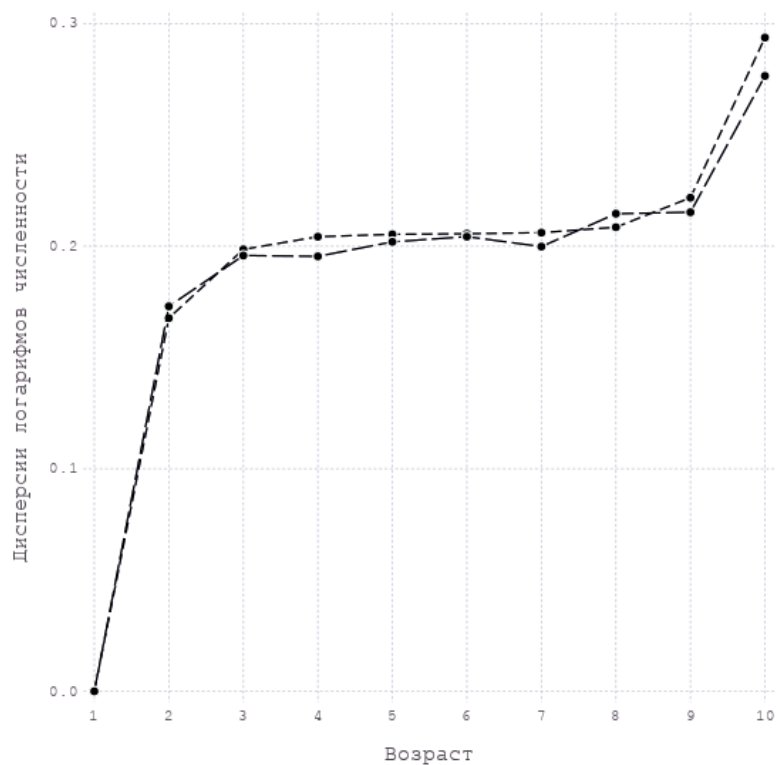


Рис. 7. Сглаживание: дисперсии логарифмов численности для 36-й когорты по возрастам.

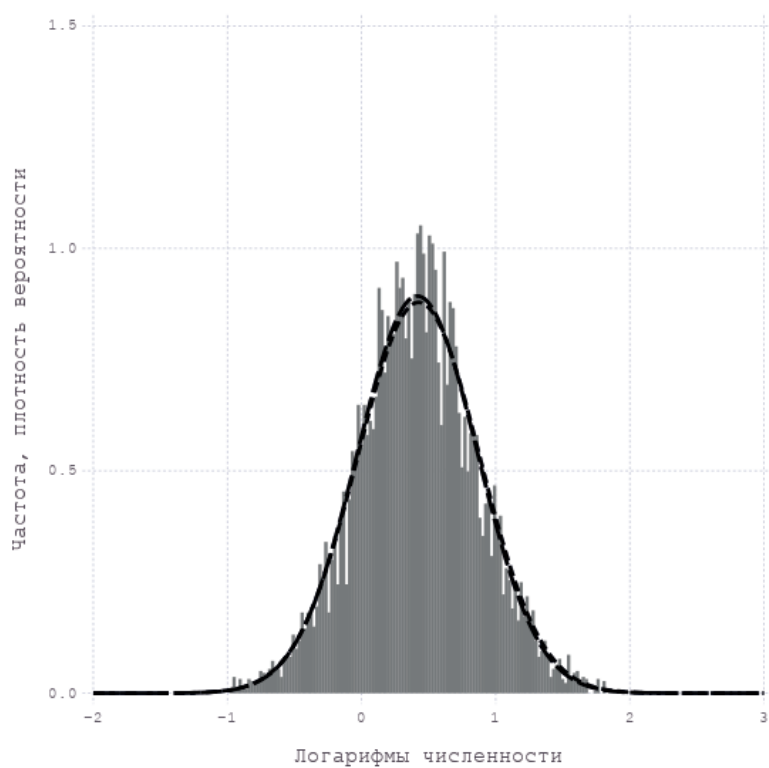


Рис. 8. Сглаживание: функция плотности вероятности и нормированная гистограмма для 36-й когорты в возрасте 7 лет.

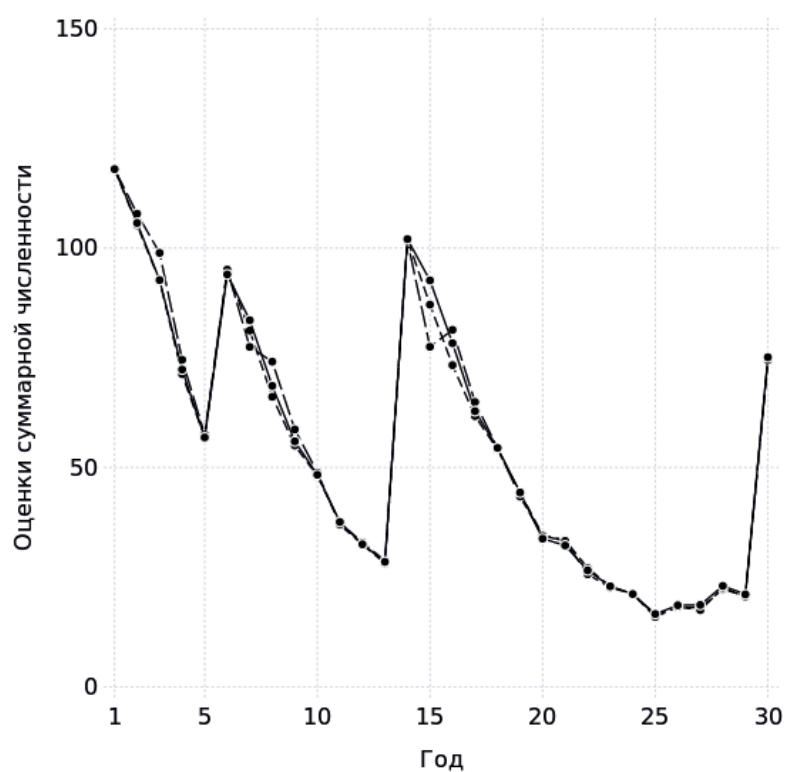


Рис. 9. Сглаживание: суммарные уловы по годам.

Таблица 1. Характеристики вычислительных процессов для фильтрации

N	t	$\min n_e$	$ \Delta\mu $	$ \Delta\sigma^2 $
1000	0,31	434	0,4693	0,2111
5000	2,04	2234	0,4586	0,2330
10000	9,4	4412	0,4434	0,2341

Таблица 2. Характеристики вычислительных процессов для предсказания

N	t	$\min n_e$	μ	σ
1000	0,19	517	0,4569	0,6821
5000	2,09	2661	0,4045	0,7042
10000	10,27	8404	0,4062	0,7284

Таблица 3. Характеристики вычислительных процессов для сглаживания

N	t	$\min n_e$	μ	σ
1000	244,10	416	0,2665	0,0223
5000	29597,70	2094	0,2695	0,0268
10000	327684,05	4161	0,2143	0,0250

ссылают коэффициенты естественной и промышленной смертности, и о виде распределений невязок (Шевченко, 2017). Тогда логарифмы численности рассматриваются в качестве ненаблюдаемого состояния, а логарифмы уловов выступают в качестве наблюдений. Вместо точечных значений анализируются плотности распределения соответствующих случайных величин, которые позволяют вычислять любые числовые характеристики распределений (средние, медианы, дисперсии и т.д.). Байесовское оценивание различных апостериорных плотностей может быть сведено к последовательному решению некоторых уравнений. По этим уравнениям аналитические описания плотностей получаются только для очень специальных случаев (линейных гауссовских моделей) (Шевченко, 2019). В общем случае требуется применение численных методов.

В работе рассмотрено использование метода частиц (Монте-Карло) для проведения байесовского оценивания апостериорных плотностей. Этот метод применим даже в случаях нелинейных и/или негауссовских моделей динамики когорт. Пакет Fishmetica в среде Julia пополнен функциями, предназначенными для последовательной генерации выборок при проведении фильтрации, предсказания и сглаживания. Точность методов частиц при конечных объемах выборок достаточно сложно оценивать (Crisan, Doucet, 2019). В качестве тестового выбран первый набор данных ВНИРО для программ, применяемых в институтах отрасли при моделировании динамики запасов. Для расчетов по этому набору в предположении о нормальности невязок можно пользоваться также явными соотношениями из статьи

И. И. Шевченко (2019). Путем сравнения со значениями, вычисленными с использованием известных формул, продемонстрировано влияние количества частиц, используемых при генерации выборок, на точность оценки параметров результирующих апостериорных плотностей. Приведены также оценки минимального количества эффективных частиц на отдельных шагах вычислений. В целом увеличение числа частиц при одноразовых вычислениях в диапазоне от 1000 до 10000 не позволило гарантировано увеличить точность определения сразу обоих параметров известных гауссовских распределений для отдельной когорты (табл. 1–3). Хотя сглаженные оценки математических ожиданий отслеживают основные тенденции, которые наблюдаются в исходных данных (рис. 5, 8).

Продолжение исследований связано с анализом временных рядов численности и уловов по возрастам в предположении о лапласовском распределении невязок, при котором апостериорные распределения уже не являются лапласовскими. Поэтому лапласовское распределение с технической точки зрения менее приспособлено для байесовского оценивания (Russell, Norvig, 2010). Однако оно позволяет в большей мере учесть особенности временных рядов реальных наблюдений по сравнению с гауссовским (Kotz et al., 2001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шевченко И. И. Моделирование промысловых запасов при известных оценках возрастной структуры популяций и уловов // *Вопр. рыболовства*. 2017. Т. 18. № 4. С. 507–519.
- Шевченко И. И. Моделирование промысловых запасов при известных оценках возрастной структуры популяций и уловов. II // *Вопр. рыболовства*. 2019. Т. 20. № 2. С. 152–163.
- Aldrin M., Aanes S., Subbey S. Comments on incongruous formulations in the sam (state-space assessment model) model and consequences for fish stock assessment // *Fisheries Research*. 2019. № 210. P. 224–227.
- Crisan D., Doucet A. A survey of convergence results on particle filtering methods for practitioners // *IEEE Transactions on signal processing*. 2002. V. 50. № 3. P. 736–746.
- Doucet A., Godsill S., Andrieu C. On sequential monte carlo sampling methods for bayesian filtering // *Statistics and computing*. 2000. V. 10. № 3. P. 197–208.
- Godsill S. J., Doucet A., West M. Monte carlo smoothing for nonlinear time series // *J. American statistical association*, 2004. V. 99. № 465. P. 156–168.
- Gordon N., Salmond D. J., Smith A. F. M. Novel approach to nonlinear/non-gaussian bayesian state estimation // *IEE Proceedings F (Radar and Signal Processing)*. 1993. V. 140. P. 107–113.
- Hürzeler M., Künsch H. R. Monte carlo approximations for general state-space models // *J. Computational and Graphical Statistics*. 1998. V. 7. № 2. P. 175–193.
- Kitagawa G. Monte carlo filter and smoother for non-gaussian nonlinear state space models // *J. computational and graphical statistics*. 1996. V. 5. № 1. P. 1–25.
- Kotz S., Kozubowski T. J., Podgorski K. *The Laplace Distribution and Generalizations: A Revisit with Applications to Communications, Economics, Engineering, and Finance*. Basel: Birkhauser. 2001. 349 p.
- Nielsen A, Berg C. W. Response to: Comments on incongruous formulations in the sam (state-space assessment model) model and consequences for fish stock assessment // *Fisheries Research*. 2019. № 210. P. 228–229.
- Russell S. J., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. 1152 p.
- Särkkä S. *Bayesian filtering and smoothing*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 254 p.
- Schnute J. T. A general framework for developing sequential fisheries models // *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences*. 1994. V. 51. № 8. P. 1676–1688.

Smith A. F. M., Gelfand A. E. Bayesian statistics without tears: a sampling–resampling perspective // *The American Statistician*. 1992. V. 46. № 2. P. 84–88.

Valpine P. de, Hilborn R. State-space likelihoods for nonlinear fisheries time-series // *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences*. 2005. V. 62. № 9. P. 1937–1952.

SEQUENTIAL PARTICLE METHODS FOR BAYESIAN EVALUATIONS OF ABUNDANCE AND CATCH AT AGE

© 2020 y I. I. Shevchenko

The Pacific Branch Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Vladivostok, 690091

A cohort population dynamics may be represented as a hidden Bayesian model with abundances as hidden states and catches as observations. Using these models, one can evaluate posterior densities and calculate such point-wise characteristics as means, medians, variances and so on. With rare exceptions (as linear Gaussian models), the recurrence equations met by the posterior densities have no analytic solutions. We describe several particle (Monte Carlo) methods that may be used for the density approximations and evaluations of their statistical quantities for nonlinear non-Gaussian models as well. The Fishmetica package was extended with functions for generating samples and masses for time series filtering, prediction, and smoothing. Evaluations in Julia were made for a test dataset with assumed Gaussian distributions of residuals and different numbers of particles. Numerical results were compared with known analytic ones.

Keywords: state-space assessment models, dynamic Bayesian networks, filtering, smoothing, prediction.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 639.22+629.78, 639.2.06

**СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ
И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОМЫСЛА**

© 2020 г. Г. Е. Маслянкин, М. М. Дубищук, Е. М. Гербер, А. А. Вафиев

Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО), г. Калининград, 236022

E-mail: maslyankin@atlantniro.ru

Поступила в редакцию 26.03.2020

В статье рассматриваются новые возможности получения и анализа промысловой информации, связанные с глобальным внедрением систем позиционирования судов, в том числе ведущих промысел водных биоресурсов. Приведены сведения о содержании данных, передаваемых в режиме автоматической идентификационной системы, о доступных интернет-ресурсах, размещающих такую информацию. Представлены примеры использования данных позиционирования судов в исследовательских целях и в целях оперативного обеспечения промысла.

Ключевые слова: позиционирование судов, автоматическая идентификационная система, промысел, водные биоресурсы.

ВВЕДЕНИЕ

В 50–70-е годы прошлого столетия действовала система промысловых разведок Министерства рыбного хозяйства СССР, которая очень хорошо себя зарекомендовала и показала большую эффективность своей работы. Были открыты новые объекты и районы промысла, позволившие вывести СССР в мировые лидеры по добыче водных биоресурсов в Мировом океане. В Атлантическом океане были обнаружены промысловые скопления рыб и беспозвоночных, составившие в те годы основу советского промысла в Атлантике. Было сделано эпохальное открытие запаса ставриды в южной части Тихого океана (Управление ..., 1983; Промысловое описание ..., 2013). Всего в районах сферы деятельности АтлантНИРО в Атлантическом и южной части Тихого океана было выполнено более 2500 научно-исследовательских и научно-поисковых рейсов, по

результатам которых накоплен уникальный материал о промысловых объектах и среде их обитания.

В исследованиях, направленных на повышение эффективности использования и расширение ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса, остается актуальной задача мониторинга промысловой деятельности рыболовного флота и подготовка рекомендаций по его оптимизации.

В современных условиях появились новые возможности получения промысловой информации посредством доступных интернет-ресурсов, которые, наряду с имеющимися ретроспективными данными позволяют получить инструмент мониторинга промысловых районов.

В настоящей работе приводится краткая информация о доступных источниках данных позиционирования судов и анализ возможностей использования этих данных в интересах российского рыболовства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Новые данные и средства для развития исследований мониторинга промысла связаны с глобальным внедрением систем позиционирования судов, в том числе ведущих промысел водных биоресурсов.

Получение информации о позициях судов, в том числе ведущих промысел водных биоресурсов, возможно с помощью сервисов, осуществляющих отслеживание судов и предоставляющих доступ к этим данным посредством своих веб-порталов. Наиболее известны такие сайты как marinetraffic.com (офисы в Великобритании, Греции и Сингапуре) и vesseltracker.com (офис в Германии), принадлежащие одноименным компаниям.

Деятельность этих компаний основывается на том, что начиная с декабря 2004 г., во исполнение положений Главы 5 Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС –74) Международная морская организация (ИМО) требует чтобы все коммерческие суда водоизмещением более 299 т были оборудованы транспондерами автоматической идентификационной системы (АИС) класса А (эти устройства передают и принимают данные АИС), суда меньших размеров должны быть оборудованы транспондерами АИС класса Б (Международная Конвенция ..., 2010; ИМО, 2019). Это оборудование в автоматическом режиме передает обязательную информацию для опознавания судов и слежения за ними на дальнем расстоянии. Данные АИС состоят из блока динамической (навигационной) информации, которая транслируется с интервалом 2–10 сек. и блока статической информации, передаваемой каждые 6 мин.

Блок навигационных данных включает: 1) опознавательные данные судна (позывной, идентификационный номер морской подвижной службы (ММСИ), номер ИМО); 2) местоположение судна (широта и долгота); 3) скорость и курс судна, скорость поворота судна; 4) дата и время указанного местоположения.

Блок статических данных включает в себя 18 параметров, в том числе имя и тип

судна, размеры судна, осадку, пункт назначения и ряд других параметров.

Вся информация АИС транслируется транспондером в УКВ диапазоне на частотах 161.975 МГц и 162.025 МГц и может быть принята и декодирована любым заинтересованным лицом с помощью соответствующего оборудования (Holsten, 2009).

Таким образом, главным источником информации для порталов, предоставляющих сведения о позиционировании и перемещении морских судов, являются данные собираемые с судовых АИС с помощью сети береговых приемных станций (рис. 1).

Береговые станции, в зависимости от места установки, позволяют собирать данные на расстоянии до 200 морских миль, охватывая территорию до 7 тыс. км² (Marinetraffic, 2019). Доступ пользователей к информации о позициях судов, полученных с помощью береговых станций, осуществляется в режиме реального времени или с задержкой до 72 ч (в зависимости от провайдера), доступна вся информация блоков навигационных и статических данных.

Главным недостатком такой системы является ограниченная зона наблюдения за судами, которая лимитируется радиусом покрытия приемной станции. Поэтому наряду с информацией, получаемой береговыми станциями, такие сайты включают данные АИС со спутников. Принцип получения таких данных аналогичен береговым приемным станциям с единственной разницей, что приемная антенна расположена на низкоорбитальных (высота 700–750 км) спутниках. Крупнейшим в мире оператором таких спутников является компания Orbcomm, с долей рынка 43,7%. Она располагает группировкой из 11 спутников второго поколения проекта OG2 и группировкой из 7 спутников первого поколения проекта OG1, осуществляющих прием данных АИС по всему миру (рис. 2) (Orbcomm, 2019).

Все компании, предоставляющие услуги доступа к информации о позиционировании судов, приобретают эту информацию у операторов спутников, поэтому доступ к ней

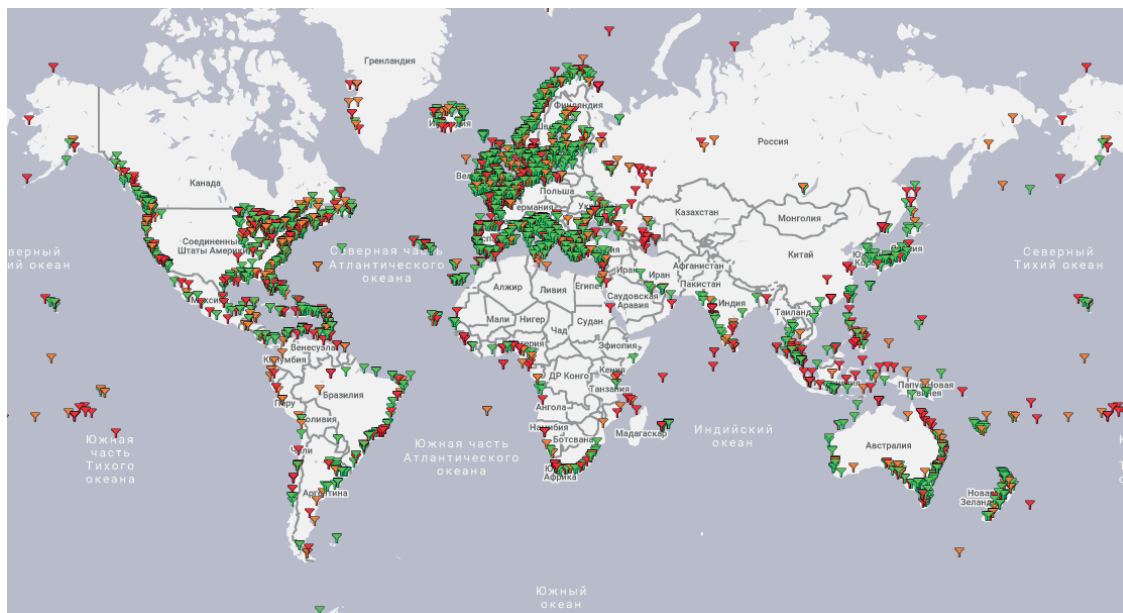


Рис. 1. Сеть береговых приемных станций компании Marinetrtraffic (более 2000 станций) по данным Marinetrtraffic (2019).

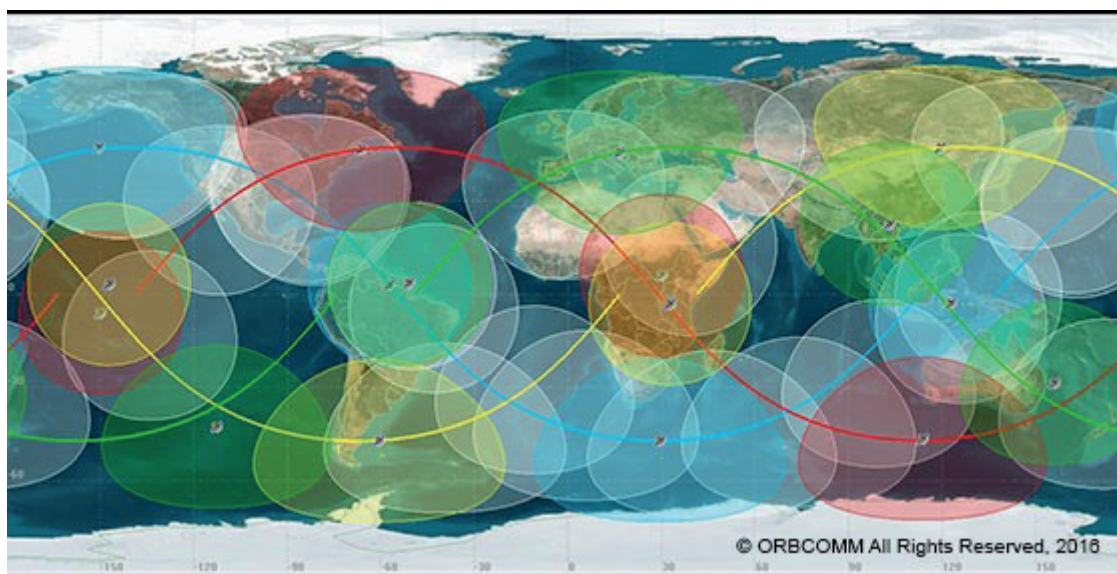


Рис. 2. Зона покрытия спутниками приема данных АИС компании (Orbcomm, 2019).

на сайтах осуществляется только в рамках коммерческих подписок. В свободном доступе на таких сайтах отображается только местоположение (координаты) судна, название этого судна невозможно идентифицировать.

Рассматриваемые выше порталы с данными позиционирования судов (marinetraffic.com, vesseltracker.com и т.п.) не предоставляют интерфейса для накопления

информации в базы данных или анализа отображаемой информации, что затрудняет ее использование.

Следует отметить, что оборудование АИС находится под контролем экипажа судна и может быть отключено, например, в случае ведения ННН промысла или в иных целях. Этим описанная система сбора данных АИС принципиально отличается от

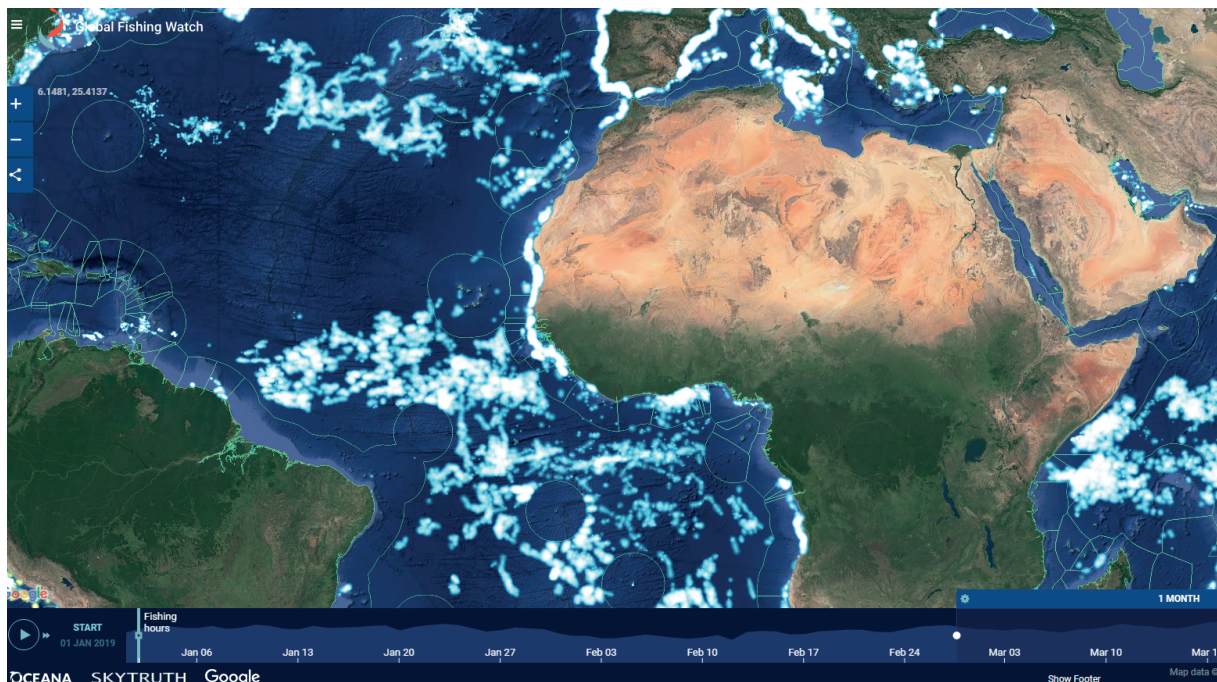


Рис. 3. Интерфейс отображения промыслового усилия добывающего флота на сайте проекта Globalfishingwatch (2019).

национальных систем мониторинга судов, созданных в России, Европейском союзе и ряде других стран, где информация о позиционировании передается независимо от желания экипажа судов по каналам спутниковой связи (Система спутникового мониторинга ..., 2008; Chang et al., 2010; European Commission ..., 2010).

В 2016 г. при финансовой и информационной поддержке некоммерческих организаций Oceana (oceana.org), SkyTruth (skytruth.org), корпорации Google (google.com) и фонда Леонардо Ди Каприо был запущен проект Globalfishingwatch (globalfishingwatch.org), который на основе спутниковых АИС данных, поставляемых компанией Orbcomm, предоставляет доступ к информации о позиционировании и промысловой деятельности судов, ведущих добычу водных биоресурсов по всему Мировому океану (рис. 3). Основная цель этого проекта — сделать информацию о промысловой деятельности публичной, чтобы использовать ее в борьбе с ННН промыслом и более эффективно осуществлять управление промыслом в морских охраняемых районах

(Globalfishingwatch, 2019). Согласно регламенту проекта данные предоставляются в режиме, близком к реальному времени, однако на практике данные обычно задерживаются на несколько суток. Доступны как текущие, так и исторические данные, начиная с 2012 г.

Благодаря запуску программы Research Accelerator Program проекта GlobalFishing Watch большая часть накопленных данных АИС стала доступна для использования в научно-исследовательских целях (Globalfishingwatch, 2019). Исходный набор данных содержит предварительно обработанные ежедневные отчеты АИС по рыболовным судам с определением промысловых операций на основе нейронных сетей, сгруппированные по идентификатору морской подвижной службы судна (MMSI) в узлах $0,01^\circ$ сетки и привязанные к одному из 6 типов рыболовных судов по осуществляемым промысловым операциям (траулеры, суда кошелькового лова, ярусоловы, ведущие промысел ставными сетями, джиггерный промысел и прочие). Физически эта информация представлена в форме 1827 файлов общим объемом более 20 гигабайт

за период с 2012 по 2016 гг., пригодных для статистической обработки и анализа. Сейчас сложно сказать, будет ли эта программа продолжена и станут ли доступны полные наборы данных за последующие годы. Пока вся информация после 2016 г. доступна только через картографический интерфейс проекта Globalfishingwatch, что затрудняет систематизацию и анализ этих данных.

Ввиду изложенных ограничений при получении данных позиционирования в открытом доступе представляется целесообразным использовать возможность заключения договоров с операторами спутниковых данных АИС на прямой доступ к данным через геопортал оператора или через API для встраивания в корпоративные геоинформационные системы или приложения. Такой подход позволит значительно расширить объем и качество получаемой информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе доступной информации за период с 2012 по 2016 гг. нами, с помощью специально разработанного инструментария, сформирована база данных в СУБД MS SQL Server и подготовлено клиент-сервер-

ное приложение для доступа к этим данным и осуществления пользовательских выборок по запросам. Благодаря наличию номера MMSI судна было подготовлено приложение для верификации судов на основе информации содержащейся в открытых базах данных о морском флоте (MarineTraffic, VesselTracker и т.п.), что позволило получить сведения о названии судна и некоторых его характеристиках (флаг судна, тип судна, длина судна, год постройки). Полученные данные были загружены в отдельную таблицу БД и сопоставлены с основным блоком информации по номеру MMSI.

Таким образом, сформированная база данных содержит информацию более чем о 70 тыс. рыболовных судах длиной от 6 до 146 м, осуществлявших промысел в Мировом океане за период с 2012 по 2016 гг. Сформированная БД может использоваться в ходе различных научно-исследовательских работ. Примеры представления обработанных данных приведены на рисунках 4 и 5.

Оперативная информация о позициях судов, постоянно размещаемая на сайтах MarineTraffic и Globalfishingwatch, может использоваться при практическом мониторинге промысла. Такая информация может быть

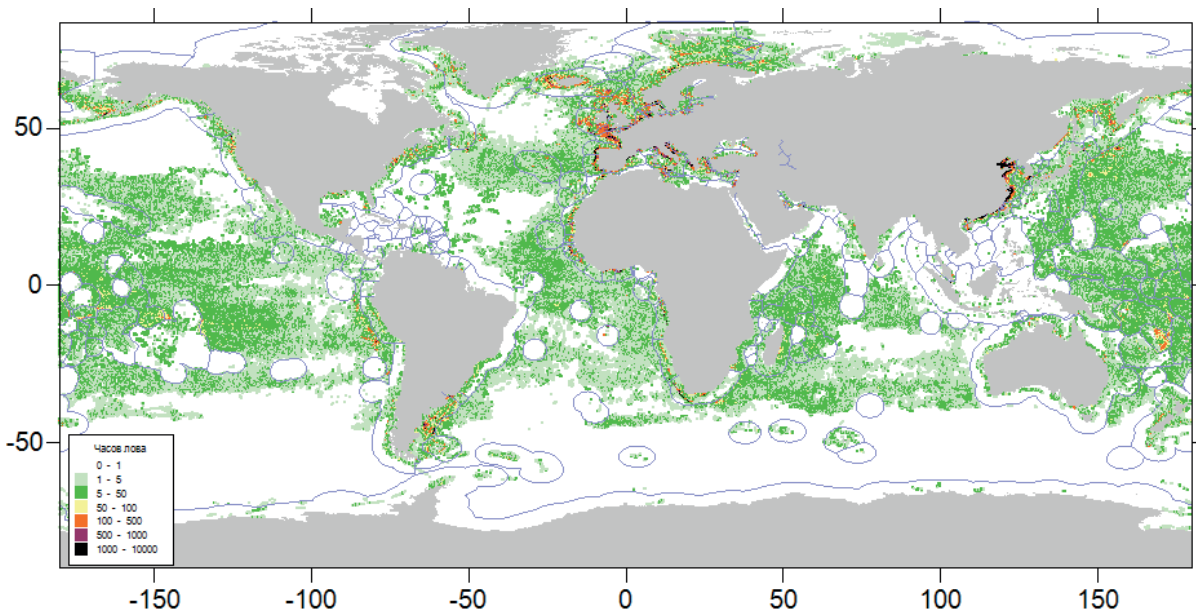


Рис. 4. Глобальное распределение промыслового усилия в 2016 г.

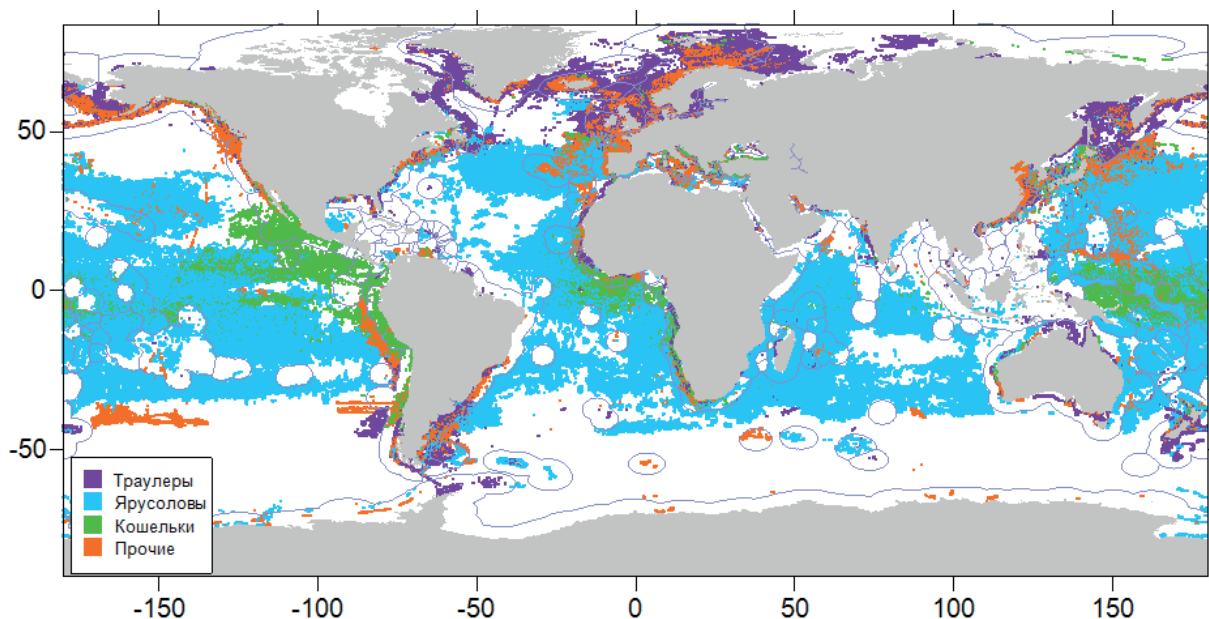


Рис. 5. Распределение промысловых судов по видам лова в 2016 г.

особенно интересна для мониторинга тех видов промысла, в которых российский флот в настоящее время не участвует, например, промысла кальмара в южной части Тихого океана или криля в Антарктике.

Кальмары относятся к числу наиболее массовых и распространенных гидробионтов. Они характеризуются коротким жизненным циклом, по этой причине после спадов численности их запасы быстро восстанавливаются. Ресурсы кальмаров в Мировом океане отечественным промысловым флотом недоиспользуются, во многих случаях это связано с тем, что они не создают скоплений, пригодных для облова российскими традиционными орудиями лова. Два основных района крупномасштабного промысла океанических кальмаров находятся в Юго-Западной Атлантике (аргентинский короткопёрый кальмар) и в Юго-Восточной части Тихого океана (кальмар-дозидикус) (Нигматуллин, 2004). В обоих районах интенсивный промысел кальмаров ведут суда азиатских стран, в основном используя лов вертикальными ярусами на свет. Запасы этих кальмаров являются перспективными и для вовлечения в сферу российского рыболовства.

Область массового распространения кальмара-дозидикуса лежит в океанических

водах к западу от Центральной и Южной Америки от 11° – 12° с.ш. до 20° – 25° ю.ш.

В 90-е годы прошлого столетия и в первом десятилетии наступившего века сырьевая база кальмара-дозидикуса активно эксплуатировалась флотом азиатских стран (Япония, Китай, Южная Корея). Промысел проходил как в зоне Перу, так и за ее пределами. Скопления кальмара распространились и в воды Чили, где этот вид также стал объектом промысла. В 2013 г. в соответствии с декретом правительства Перу промысел кальмара иностранным флотом был запрещен и в последующие годы он осуществлялся только в открытой части океана за пределами зоны Перу.

Ниже представлено перемещение флота азиатских стран на промысле кальмара в международных водах южной части Тихого океана в течение 2018 г. и в первой половине 2019 г. Идентификацию флота и участков промысла именно этого вида производили, ориентируясь на массовое сосредоточение судов азиатских стран, осуществляющих джиггерный лов на свет (рис. 6).

В январе — марте местоположение джиггерного флота в южной части Тихого океана было практически постоянным. Про-

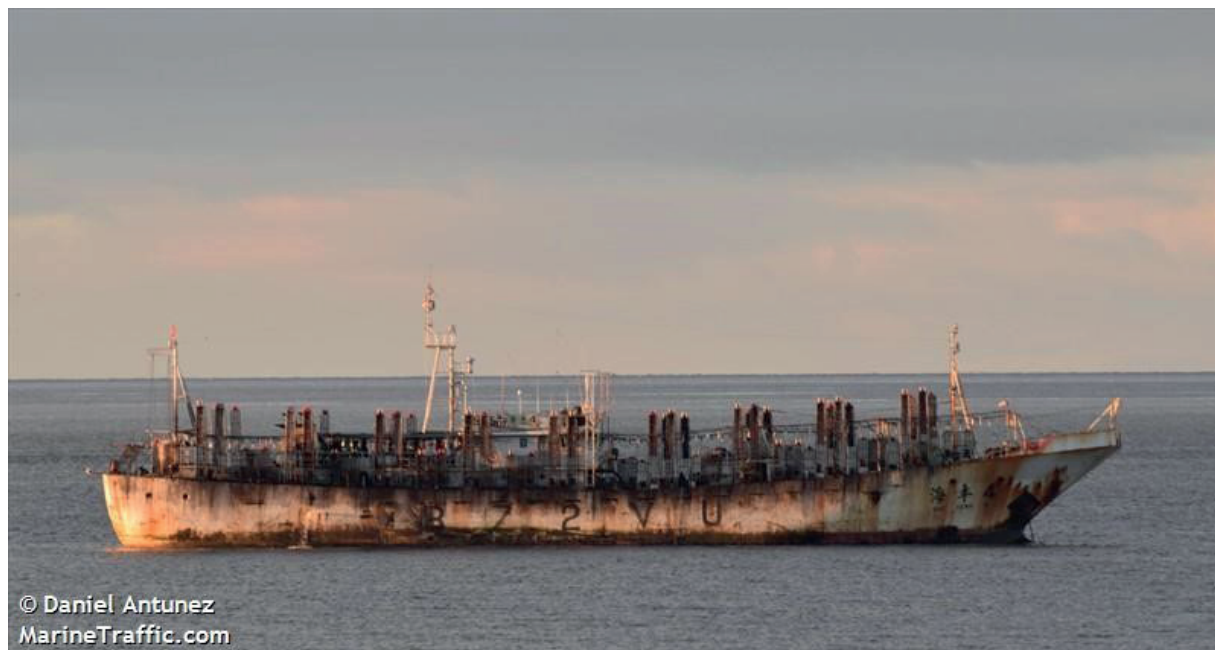


Рис. 6. Судно, оснащенное для лова кальмара вертикальными ярусами на свет под флагом Китайской Народной Республики, изображение на сайте Marinetraffic.

мысел проходил на участке к западу от Галапагосских островов между 02° с.ш. — 04° ю.ш., 110° — 115° з.д. далеко в открытом океане на удалении от побережья Южной Америки около 1500 миль (рис.7).

В апреле распределение флота на промысле стало меняться. Участок промысла приобрел конфигурацию, ориентированную с запада на восток между 02° с.ш. — 01° ю.ш., 105° — 114° з.д. По-видимому, изменение в распределении флота было связано с миграцией объекта промысла в восточном направлении.

В мае — июне промысел продолжал смещаться на восток, и в июле флот работал на участке между 01° — 04° ю.ш., 95° — 102° з.д. вблизи границы зоны Галапагосских островов. В августе — сентябре участок промысла был ориентирован в направлении запад — восток, западная граница сместилась еще западнее, до 107° з.д.

В октябре произошло резкое изменение положения основного участка промысла. Основная группа флота передислоцировалась далеко на юго-восток, к границе ИЭЗ Перу между 15° — 20° ю.ш.

Быстрое, в течение одной — двух недель перемещение биомассы кальмара на расстояние более 1500 миль представляется маловероятным. Известно, что внутривидовая структура кальмара-дозидикуса в восточной части Тихого океана представлена несколькими группировками (Нигматуллин, 2006). Очевидно, что в октябре флот переключился на облов другой группировки кальмара, отличной от той, которую он эксплуатировал до этого. Промысел в указанном районе продолжался до конца 2018 г., здесь было сосредоточено ядро кальмароловного флота, хотя небольшое количество судов позиционировалось на акватории между южным и экваториальными районами.

В начале 2019 г. кальмароловный флот вернулся в экваториальную зону (рис. 8). Однако положение района работы судов было более восточным, чем в 2018 г. В течение января — марта большую часть времени промысел проходил на акватории, прилегающей к зоне Галапагосских островов, между экватором и 06° ю.ш., а также в пределах 95° — 105° з.д. и только в феврале

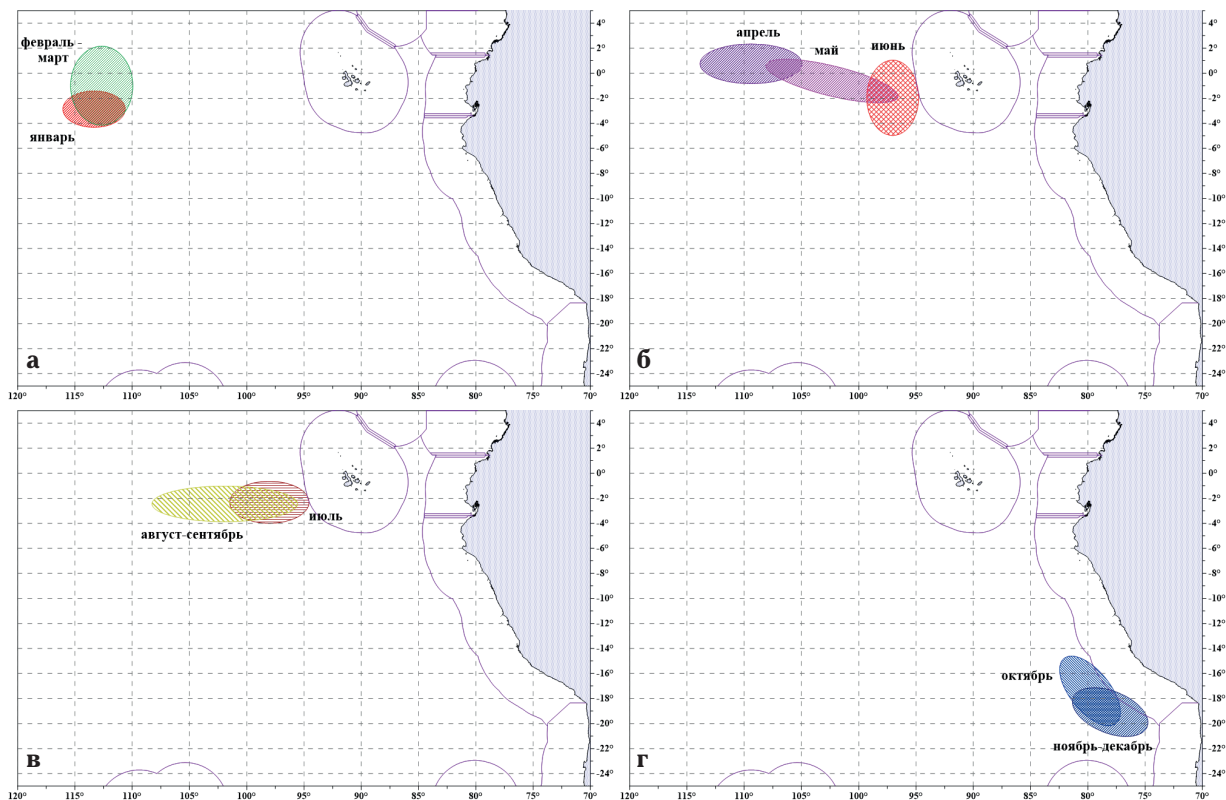


Рис. 7. Участки наибольшего сосредоточения промыслового усилия флота азиатских стран на промысле кальмара джиггерным способом на свет в 2018 г.

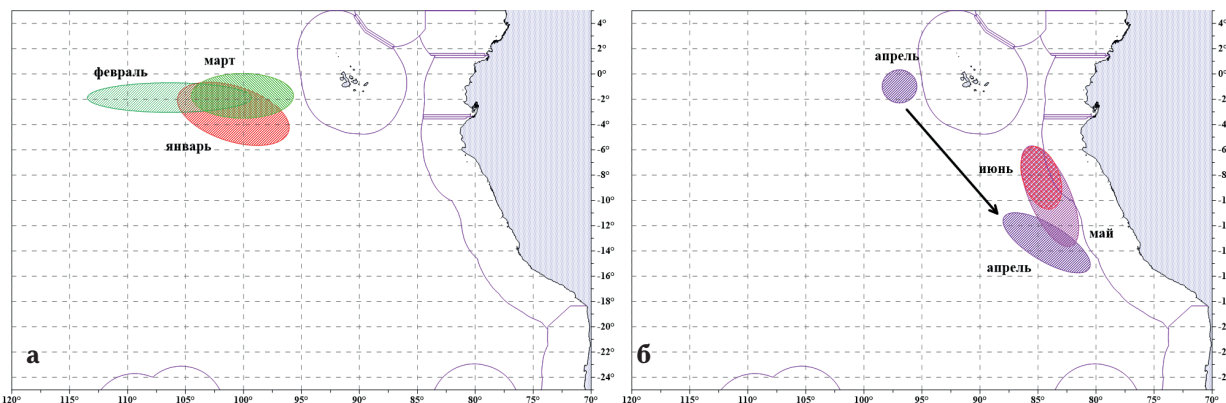


Рис. 8. Участки наибольшего сосредоточения промыслового усилия флота азиатских стран на промысле кальмара джиггерным способом на свет в 2019 г.

западная граница участка промысла распростирающаяся до 113° – 114° з.д.

В 2019 г. также произошла оперативная передислокация флота из экваториального в перуанский район, однако это случилось уже в апреле, на полгода раньше, чем в 2018 г. В апреле – июне 2019 г. район ра-

боты кальмароловного флота находился между 06° – 16° ю.ш., 80° – 87° з.д.

Причины внутригодовых перемещений флота на промысле кальмара и межгодовых отличий в сроках этих перемещений заслуживают отдельного рассмотрения и не являются предметом настоящей ста-

ть, основная цель которой — показать возможность оперативного мониторинга промышленной деятельности иностранного флота.

Еще одним объектом, мониторинг промысла которого в перспективе может представлять интерес для российского рыболовства является антарктический криль. Основные районы промысла криля находятся в Атлантической части Антарктики, в подрайонах Южных Шетландских островов (Антарктический пол-ов), Южных Оркнейских островов и о. Южная Георгия. Традиционная тактика промысла криля заключается в том, чтобы в течение максимально возможного времени (декабрь — июнь) использовать южные подрайоны — Антарктического пол-ова и Южных Оркнейских островов, а затем переходить к о. Южная Георгия, где и работать до окончания промыслового сезона (обычно в сентябре). Промысловое значение подрайонов испытывает межгодовую изменчивость в зависимости от распределения скоплений криля и складывающейся ледовой обстановки. В 80—90-е годы прошлого столетия и в начале наступившего века наиболее устойчивая промысловая обстановка чаще отмечалась в подрайоне Южных Оркнейских островов. В последнее десятилетие больше всего криля добывается в подрайоне Антарктического пол-ова. Своевременное маневрирование между подрайонами обеспечивает максимальную эффективность промысла. На современном этапе промысел криля осуществляют суда Норвегии, Китая, Республики Корея и Украины, российский флот продолжает долгое время в нем не участвовать. При возобновлении российского промысла криля большое значение будет иметь его оптимизация с учетом последних результатов работы иностранного флота. Решение этой задачи в настоящее время становится вполне реальным при использовании данных позиционирования судов. На рисунке 9 приведена схема перемещения флота на промысле криля в 2017—2019 гг. Можно отметить, что в целом эта схема в рассматриваемые

годы была сходной, в то же время имели место некоторые особенности, в частности раннее окончание промысла в подрайоне Южных Оркнейских островов в 2017 г. по сравнению с двумя последующими годами, возобновление промысла в этом подрайоне в августе — октябре 2018 г., сравнительно раннее окончание промысла в подрайоне Антарктического пол-ова в 2018 г. Возможность и сроки промысла в подрайоне Южных Оркнейских островов обычно в значительной мере зависят от складывающейся ледовой обстановки. Сроки окончания промысла в подрайоне Антарктического пол-ова, по-видимому, определялись достижением уровня порогового вылова, установленного для этого подрайона величиной 155 тыс. т («Меры по сохранению» АНТКОМ, 2017).

Использование данных позиционирования может способствовать повышению эффективности работы российских судов и в действующих районах промысла. На рисунке 10 приведено распределение российских и иностранных судов на промысле в юго-восточной части Балтийского моря. Запасы пелагических рыб в этом районе являются трансграничными и позиции иностранных судов вблизи границы ИЭЗ России могут служить ориентиром для российских судов при выборе наиболее продуктивных участков промысла.

Таким образом, данные позиционирования судов могут быть использованы как в научно-исследовательских целях (анализ промысла в многолетнем плане, анализ распределения водных биоресурсов в связи с условиями среды), так и в целях практического оперативного мониторинга промысла.

В качестве одного из примеров использования данной информации в научно-исследовательской работе может быть приведена статья Красноборода (2018). Также заслуживает внимания атлас рыболовной активности в Мировом океане, подготовленный ФАО на основе обработанной информации АИС за 2017 г. (Taconet, et al. 2019).

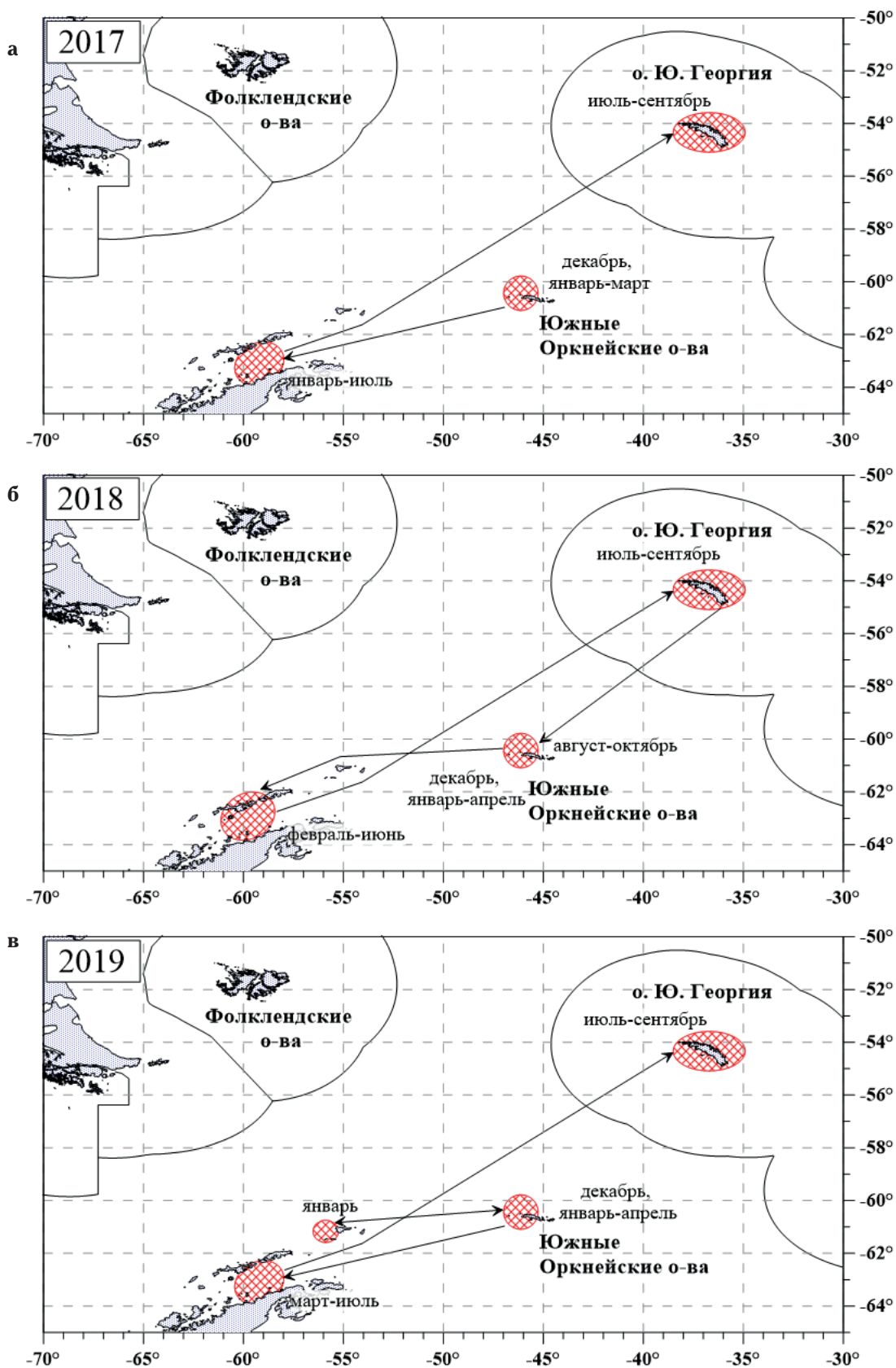


Рис. 9. Участки наибольшего сосредоточения промыслового усилия международного флота на промысле криля в 2017–2019 гг.

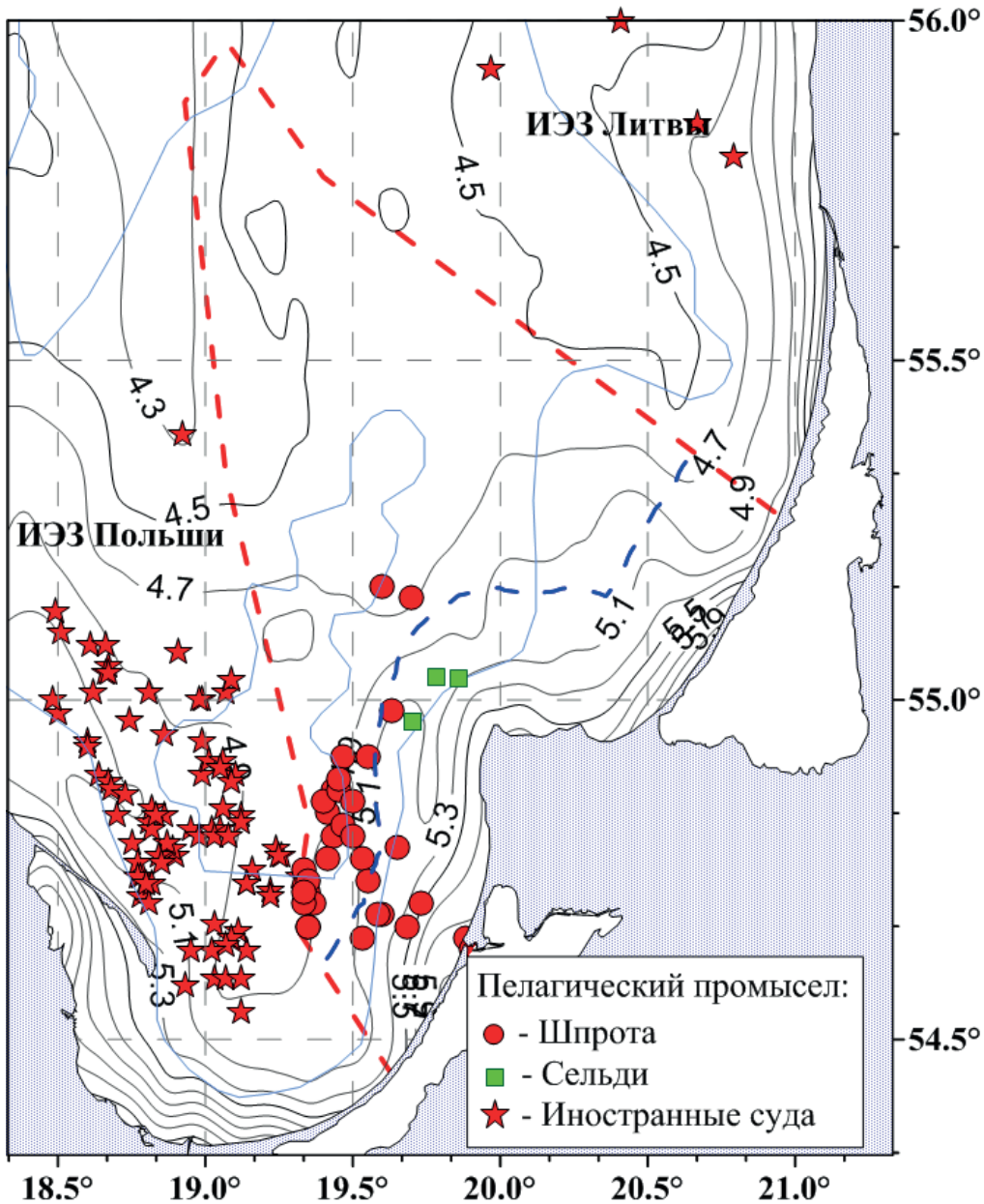


Рис. 10. Участки работы судов и температура поверхности моря в юго-восточной части Балтийского моря 03.04–09.04.2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оперативный мониторинг промысла может осуществляться в следующих направлениях:

— мониторинг иностранного промысла наряду с имеющимися ретроспективными данными в районах, неиспользуемых в настоящее время, но потенциально перспективных для отечественного рыболовства;

— выявление новых районов и объектов промысла по результатам работы иностранного флота;

— уточнение положения продуктивных участков в действующих районах работы российского флота с целью оптимизации промысла.

Применение новейших спутниковых технологий в рыбохозяйственных исследова-

ниях, в частности данных позиционирования судов, пока еще относительно невелико, это направление исследований является перспективным и может быть значительно развито в ближайшее время, а в последующем стать одним из начальных этапов промысловой разведки в удаленных и перспективных районах Мирового океана.

Это особенно актуально в рамках действующих Концепции федеральной целевой программы «Мировой океан» на 2016–2031 годы (Концепция ..., 2015) и Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (Стратегия ..., 2019).

Например, одной из первых задач данной Концепции является совершенствование информационного обеспечения морской деятельности Российской Федерации на основе интеграции и рационального использования информационных систем, комплексов и средств различного подчинения. К приоритетным задачам одного из проектов указанной Стратегии относится проведение промысловой разведки перспективных видов водных биологических ресурсов (сельдь-иваси и скумбрия в северо-западной части Тихого океана, антарктический криль, тунцы в Южной и Центральной Атлантике, хамса в Черном и Азовском морях).

В связи с вышесказанным, на наш взгляд рассматриваемый инструмент сочетания мониторинга промысловой деятельности добывающего биологические ресурсы флота и ретроспективной информации может стать составной частью реализации вышеуказанных задач, а также стать начальным звеном в подготовке к научно-поисковым экспедициям, без которых невозможно расширение географии работы российского промыслового флота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Концепция Федеральной целевой программы «Мировой океан» на 2016–2031 годы, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 июня 2015 г. № 1143-р.

Краснобродько О. Ю. О повторяемости очень сильных и катастрофических Эль-Ниньо и их влиянии на промысел в Перуанском подрайоне Юго-Восточной Пацифики // Труды АтлантНИРО. 2018. Том 2. № 2. С. 66–83.

Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года СОЛАС (текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). СПб: ЦНИИМФ, 2010. 992 с.

Меры по сохранению 2018/2019 гг. Хобарт: АНТКОМ, 2017. 338 с.

Нигматуллин Ч. М. Биомасса, продукция, биоценотическая роль, промысловый потенциал и перспективы использования отечественным промыслом кальмаров семейства *Ommastrephidae* Мирового океана. // Труды АтлантНИРО. Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2002–2003 годах. Том 1. Условия среды и промысловое использование биоресурсов. 2004. С. 144–163.

Нигматуллин Ч. М. Состояние запасов и промысла кальмара-дозидикуса *Dozidicus gigas* в 1980–2000 годы в восточной части Тихого океана. // Всероссийская конференция по промысловым беспозвоночным памяти Б. Г. Иванова. Тезисы докладов. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. С. 210–213.

Промысловое описание продуктивных районов Атлантического океана (к югу от параллели 50° с.ш.) и Юго-Восточной части Тихого океана. / К. Г. Кухоренко и др. Калининград: Капрос, 2013. С. 415.

Система спутникового мониторинга рыболовства. Современное состояние и перспективы развития. / К. А. Згуровский, В. В. Приземлин, С. Ю. Фомин. Москва: WWF России, 2008. С. 80.

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2019 г. № 2798-р. С. 58.

Управление Запрыбпромразведка 1958–1982 гг. Справочный материал.— Калининград: Запрыбпромразведка, 1982. С. 96.

Chang S.K., Liu K.Y., Song Y.H.
Distant water fisheries development and vessel monitoring system implementation in Taiwan—history and driving forces // *Marine Policy*. 2010. V. 34. № 3. P. 541–548.

European Commission Regulation (EC) No. 2244/2003 of 18 December 2003 laying down detailed provisions regarding satellite-based vessel monitoring systems // *Official Journal of the European Union*. 2003. V. L333. P. 17–27.

Globalfishingwatch // URL: www.globalfishingwatch.org (дата обращения: 14.10.2019).

Holsten S. Global maritime surveillance with satellite-based AIS // *OCEANS 2009—EUROPE*. IEEE. 2009. P. 1–4.

ИМО // URL: <http://www.imo.org> (дата обращения: 22.07.2019).

Marinetraffic // URL: www.marinetraffic.com (дата обращения: 22.07.2019).

Orbcomm // URL: www.orbcomm.com (дата обращения: 22.07.2019).

Taconet M., Kroodsta D., Fernandes J.A. Global Atlas of AIS-based fishing activity – Challenges and opportunities. Rome: FAO, 2019. P. 382.

MODERN VESSEL POSITIONING SYSTEMS AND POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATION TO OPTIMIZE SCIENTIFIC AND INFORMATION SUPPORT OF DOMESTIC FISHERIES

© 2020 г. **G. E. Maslyankin, M. M. Dubishuk, E. M. Gerber, A. A. Vafiyev**

*Atlantic branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Kaliningrad, 236022*

The article discusses new opportunities for obtaining and analyzing fisheries information related to the global implementation of positioning systems for vessels including those fishing for aquatic biological resources. Information on content of data transmitted in automatic identification system mode as well as on available Internet resources hosting such information is provided. Examples of use of vessel positioning data for research purposes and for the operational support of fisheries are presented.

Key words: vessel positioning, automatic identification system, fisheries, aquatic biological resources.

Компьютерная верстка

А.А. Шимчук

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ №ФС77-45410
от 15 июня 2011 г. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Учредитель — ФГБНУ «ВНИРО»

Подписано в печать 30.05.2020 г.

Печать офсетная

Формат бумаги 60×90 1/8

Бумага 70 г/м²

Тираж 100 экз.

Редакция журнала «Вопросы рыболовства»
Тел.: 8 (499) 264-65-33, e-mail: vr@vniro.ru

Отпечатано в типографии Book Jet
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18

Сайт: <http://bookjet.ru>

Почта: info@bookjet.ru

Тел.: +7(4912) 466-151