

УДК 639.222.2.639.2.053.7(282.247.41)

## КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАПАСА СЕЛЬДИ-ЧЕРНОСПИНКИ *ALOSA KESSLERI KESSLERI* (ALOSIDAE) ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГА НА ОСНОВЕ МЕТОДА LBI

© 2023 г. И. А. Сафаралиев<sup>1</sup>, \*, Т. В. Войнова<sup>1</sup>, И. Н. Лепилина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии – КаспНИРХ, Астрахань, Россия

\*E-mail: safaraliev.i.a@mail.ru

Поступила в редакцию 08.09.2022 г.

После доработки 29.09.2022 г.

Принята к публикации 02.11.2022 г.

Приведены результаты качественной оценки запаса сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга. Используются данные размерного состава уловов сельди-черноспинки, мигрировавшей на нерестилища р. Волга в период активного промысла вида в 1990–2000 гг., и современные данные 2016–2021 гг., когда для вида были характерны низкие биологические показатели после периода резкого сокращения запаса в начале 2000-х гг. Применён метод Length based indicators, относящийся к методам с ограниченной информацией о запасе, на основании которого определены статусы индикаторов сельди-черноспинки для 1990–2000 и 2016–2021 гг. Использование этого метода позволило оценить качественное состояние запаса и воздействие на него промысла в рассмотренные периоды. Результаты могут быть использованы в рекомендациях по регулированию промысла сельди-черноспинки.

**Ключевые слова:** сельдь-черноспинка *Alosa kessleri kessleri*, оценка запаса, индикаторы, метод Length based indicators, размерный состав.

**DOI:** 10.31857/S0042875223050119, **EDN:** RKINSB

Каспийская проходная сельдь ранее была представлена двумя подвидами – волжской многотычинковой сельдью *Alosa kessleri volgensis* Berg и сельдью-черноспинкой *Alosa kessleri kessleri*, Grimm. После исчезновения волжской многотычинковой сельди остался только второй подвид. Жизненный цикл проходных сельдей, обитающих в акватории Каспийского моря, впервые был описан Кесслером (1874, 1877) и Гриммом (1887) в конце XIX в. Промысел сельдей в Каспийском бассейне начался в 40–50 гг. XIX в., и за весь его период наибольший вылов сельди-черноспинки (заломы) отмечен в 1917 г. – 41.72 тыс. т, а общий годовой улов каспийских сельдей в начале XX в. достигал 272.2 тыс. т (Киселевич, 1937). В начале 1960-х гг. лов морских сельдей был ограничен семью тонями на западном побережье Среднего Каспия, проходных сельдей – водотоками дельты р. Волга. В период гидростроительства на р. Волга и прекращения морского промысла в Каспийском море (50–60 гг. XX в.) годовые уловы морских и проходных сельдей, добываемых в Каспийском бассейне (без Ирана), снизились с 56.1 (1950) до 3.5 тыс. т (1965) (Иванов, 2000). Изменение запасов проходных сельдей проходило в ос-

новном за счёт волжской многотычинковой сельди, уловы которой в общей добыче составляли >80%. В 1970-е гг. продолжилось сокращение уловов проходных сельдей в среднем до 0.75 тыс. т в год в результате исчезновения в уловах волжской многотычинковой сельди, падения уровня Каспийского моря и обмеления зон откорма молоди проходных сельдей в северной части Каспийского моря.

Для сохранения запаса и повышения эффективности естественного воспроизводства за счёт увеличения пропуска производителей в 1979 г. промысел сельди-черноспинки (единственной оставшейся проходной сельди) стали лимитировать (Беляева и др., 1989). Небольшой её запас не давал возможности рассчитывать на значительные объёмы вылова, сопоставимые со статистическими данными начала XX в. В 1980-е гг. годовые уловы в среднем составляли 1.03 тыс. т. С конца 1980-х гг. до 1999 г. отмечено увеличение нерестового запаса с 4 до 9 тыс. т, а уловы к 1999 г. возросли до 4.35 тыс. т. Высокая промысловая нагрузка на мигрирующих производителей сельди-черноспинки привела к снижению уловов в 2000 г. в 4.2 раза (до 1.04 тыс. т) по сравнению с 1999 г. (Водовская, 2001). С 2001 г. и по настоящее время

запас сельди-черноспинки находится в неудовлетворительном состоянии. Среднегодовой вылов в 2001–2005 гг. составил 0.004 тыс. т, в 2006–2010 гг. – 0.04 тыс. т. С 2011 по 2021 г. прослеживается тенденция увеличения вылова с 0.06 до 0.19 тыс. т, с превалированием в уловах трёхлетних впервые нерестующих рыб с низкой массой тела (Войнова, 2013; Войнова и др., 2022).

Резкое сокращение уловов в 2000 г. и незначительный объём вылова в последующие годы объясняются несколькими причинами. Возрастной состав уловов 1999 и 2000 гг. свидетельствовал об отсутствии пополнения запаса впервые нерестующими трёхлетними особями. В этих условиях высокие объёмы вылова привели к перелову нерестового запаса (Зыков и др., 2000; Седов и др., 2004; Войнова и др., 2022). Кроме того, в результате геодинамической нестабильности Каспийского моря в 2001 г., прорыва пластовых вод и газовых струй, заражения вод токсичным сероводородом и метаном с примесями тяжёлых металлов была отмечена масштабная гибель анчоусовидной (*Clupeonella engrauliformis*) и большеглазой (*C. grimmi*) килек, которые составляли основу кормовой базы сельди-черноспинки на местах нагула в средней и южной частях Каспийского моря (Голубов, Катунин, 2002).

Для предотвращения повторения переэксплуатации запаса сельди-черноспинки, случившейся в 1999–2000 гг., необходимо с применением современных методов проводить анализ уловов для своевременного выявления негативных тенденций, происходящих в популяции. Такими, например, являются методы, основанные на анализе размерных рядов рыб из уловов: LB-SPR (Length based spawning potential ratio) (Hordyk et al., 2015a, 2015b) или LBI (Length based indicators) (ICES, 2015, 2018). Они позволяют в условиях ограниченной информации о запасе оценить качественное состояние, характер или степень эксплуатации запаса. В отечественной практике рыболовства метод LBI используют в обосновании общего допустимого улова речной камбалы *Platichthys flesus* в 26-м и 28-м подрайонах Балтийского моря (ICES, 2020). В научной литературе представлена работа по анализу методом LBI качественного состояния запаса рыбца *Vimba vimba* в Азовском море (Козоброд и др., 2021).

Цель настоящей работы – с использованием метода LBI провести качественную оценку состояния и условий эксплуатации запаса сельди-черноспинки в дельте р. Волга в период интенсивного промысла вида при благоприятном нерестовом запасе (1990–2000 гг.) и в период становления численности, после выхода из депрессивного состояния запаса (2016–2021 гг.).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Особей сельди-черноспинки дельты р. Волга отбирали из промысловых уловов во время её нерестового хода в весеннюю путину в 1990–2000 (кроме 1991, 1994 и 1996 гг.) и 2016–2021 гг. В 1990–2000 гг. сбор проводили на рыболовных участках тоней 3-я и 5-я Огнёвка, Кольцевая, Комсомольская, Красноармейская, Стахановская и Мужичья из речных закидных неводов двух типов: мелкочейного с ячеей 28 × 36 × 40 мм и редкочейного – 48 × 50 × 56 мм. В 2016–2021 гг. сбор материала выполняли на рыболовных участках тоней 10-я Огнёвка, Глубокая, Лицевая, Гранная и Балчуг из мелкочейного невода. Сбор и обработку материала проводили согласно общепринятым методикам (Правдин, 1966; Судаков и др., 2011). У рыб измеряли длину по Смитту (*FL*) и массу тела, определяли стадию зрелости гонад. Возраст определяли по чешуе, взятой выше боковой линии под спинным плавником (Чугунова, 1959). Всего проанализировано 28167 экз.

Анализ состояния и качественную оценку запаса сельди-черноспинки выполнили с применением индикаторного подхода (метод LBI), основанного на анализе размерных рядов особей в уловах. На основании отчёта рабочей группы ICES “Development of quantitative assessment methodologies based on life-history traits, exploitation characteristics and other relevant parameters for data-limited stocks (WKLIFE V)” (ICES, 2015) были выбраны индикаторы, отражающие размерный состав уловов, и ориентиры, относительно которых определяется состояние запаса, такие как сохранение мелко- и крупноразмерных групп рыб, устойчивости запаса, оптимального улова и улова в рамках концепции MSY (maximum sustainable yield – максимальный устойчивый улов). Суть данного метода состоит в том, что оценивается статистика соответствующих индикаторов. Для каждого индикатора рассчитывается его отношение к соответствующему ориентиру (целевому значению индикатора) (Core, Punt, 2009). Далее к полученным отношениям применяется метод светофора, так как LBI относится к так называемым немодельным мультииндикаторным методам оценки запаса (Caddy et al., 2005; McDonald et al., 2017). Присвоение зелёного цвета полученному отношению выполняется при условии достижения или превышения порогового значения, а при значении ниже порогового присваивается красный цвет. В заключении набор отношений индикатор/ориентир рассматривается целостно, чтобы создать общее представление о состоянии запаса. Перечень используемых индикаторов, ориентиров, их определение, ожидаемые пороговые значения отношений индикатор/ориентир и статусы запаса, соответствующие данным отношениям, представлены в табл. 1. Ниже приведено объяснение индикаторам, ориентирам

и статусам (состоянию) запаса, используемым в методе LBI.

*Сохранение крупноразмерных особей.* Сравнение индикаторов, характеризующих размер тела крупных особей, с ориентиром  $L_\infty$  (асимптотическая длина тела – параметр уравнения роста Бергаланфи (Bertalanffy, 1964)) даёт представление о доле снижения средней длины крупноразмерных рыб от теоретической максимальной длины. Отношение этих длин показывает долю сокращения наибольшей длины тела особей в запасе, которое может быть вызвано влиянием промысла. Индикатор  $L_{\max 5\%}$  представляет собой среднюю длину наибольших рыб, входящих в диапазон 95–100 перцентилей, а  $L_{95\%}$  – длина рыбы при 95-м перцентиле. Имитационным моделированием установлено (Probst et al., 2013; ICES, 2014; Miethe, Dobby, 2015<sup>1</sup>), что пороговое значение отношений  $L_{\max 5\%}/L_\infty$  и  $L_{95\%}/L_\infty$  должно быть  $>0.8$ .

Значение индикатора, равного доле производителей крупных размеров ( $P_{\text{mega}}$ ) в запасе, соответствует принципу “пусть живут мегапроизводители” (Let the megaspawners live! – по: Froese, 2004. Р. 87). Данная величина отражает долю рыб из улова, длина которых больше ориентира  $L_{\text{opt}}$  (определение приведено ниже). Крупные рыбы, главным образом самки, играют важную роль в долгосрочном выживании популяции, поскольку количество производимой ими икры у большинства видов рыб представлено экспоненциальной зависимостью от длины тела. С увеличением длины тела, а следовательно, и количества икры и её качества, повышаются вероятность выживания и объёмы пополнения от этих рыб (Solemdal, 1997). Доживающие до старшего возраста рыбы лучше приспособлены к окружающей среде и передают свой генотип следующим поколениям. Увеличение продолжительности жизни позволяет дольше участвовать в воспроизводстве популяции, что поддерживает устойчивость численности самой популяции (Craig, 1985; Beverton, 1987). Следовательно, индикатор  $P_{\text{mega}}$  можно рассматривать как показатель устойчивости запаса. Реализаций стратегии промысла, в котором доля крупных производителей в уловах составляет 0.3–0.4, указывает на удовлетворительную размерную структуру популяции (Froese, 2004; Cope, Punt, 2009).

*Сохранение мелкоразмерных впервые нерестующих особей.* Целевое значение индикатора длины рыб первой поимки ( $L_c$ ) следует принципу “позвольте им отнереститься” (Let them spawn! – по: Froese, 2004. Р. 87). Впервые данный подход был сформулирован Бэром (1854). Теоретически перелов невозможен, если каждая половозрелая

особь перед поимкой произведёт хотя бы одного замещающего себя производителя. Данное положение выражается в методе LBI через отношение  $L_c/L_{\text{mat}}$ , где  $L_{\text{mat}}$  – длина тела, при которой 50% рыб являются половозрелыми. В случае, если  $L_c$  трудно или невозможно оценить, можно использовать индикатор  $L_{25\%}$  (25-й перцентиль частотного распределения длины тела). При отношении  $L_c/L_{\text{mat}}$  или  $L_{25\%}/L_{\text{mat}} > 1$  считается, что эксплуатация запаса ведётся удовлетворительно с сохранением незрелых или впервые нерестующих особей.

*Оптимальный улов.* Ориентир “оптимальный улов ( $L_{\text{opt}}$ )” следует принципу “позвольте им вырасти” (Let them grow! – по: Froese, 2004. Р. 87).  $L_{\text{opt}}$  представляет собой теоретическую длину, при которой биомасса неэксплуатируемого запаса достигает максимального значения (Froese, Binohlan, 2000). Величина ориентира  $L_{\text{opt}}$  обычно больше, чем длина впервые созревающих рыб. Если значения индикаторов средней длины особей ( $L_{\text{mean}}$ ), которые крупнее  $L_c$ , или длины с максимальной биомассой в улове ( $L_{\text{maxy}}$ ) близки к  $L_{\text{opt}}$ , то либо запас эксплуатируется слабо, либо промысел ведётся на уровне, близком к целевой длине, обеспечивающей устойчивые уловы. Пороговые значения отношений  $L_{\text{mean}}/L_{\text{opt}}$  и  $L_{\text{maxy}}/L_{\text{opt}}$  должны быть в пределах 0.9–1.1.

*Концепция MSY.* В нашей работе используется ориентир значения длины ( $L_{F=M}$ ), при которой достигается величина улова в соответствии с концепцией MSY при условии, что  $F=M$  (мгновенные коэффициенты соответственно естественной и промысловой смертности). Величина ориентира  $L_{F=M}$  указывает на среднюю длину рыб в улове, ожидаемую при  $F=M$  в долгосрочной перспективе. Следовательно, чтобы оценить, соответствует ли ведение промысла концепции MSY, подходящим индикатором является  $L_{\text{mean}}$ : если  $L_{\text{mean}}$  меньше, чем  $L_{F=M}$ , то величина  $F$ , вероятно, больше  $M$  и не соответствует концепции MSY (ICES, 2014). Отсюда отношение  $L_{\text{mean}}/L_{F=M}$  должно быть  $\geq 1$ .

Для реализации метода LBI необходимы следующие данные (ICES, 2015, 2018):

- 1) величина асимптотической длины тела ( $L_\infty$ ) из уравнения роста Бергаланфи;
- 2) длина тела ( $L_{\text{mat}}$ ), при которой 50% особей являются половозрелыми;
- 3) размерный состав уловов (в % или в экз.) и средняя масса рыб в размерной группе по годам;
- 4) величина отношения  $M/k$  (отношение коэффициента естественной смертности к коэффициенту Броуди из уравнения роста Бергаланфи) по умолчанию равна 1.5.

Помимо необходимых данных в методе LBI вводится ряд допущений:

<sup>1</sup> Miethe T., Dobby H. 2015. Selection of length-based indicators for shellfish stocks and fisheries. Working Document (WD) to WKLIFE V. 17 p.

Таблица 1. Индикаторы, ориентиры и их определения, используемые в методе Length-based indicators (по: ICES, 2015)

Индикатор	Определение	Ориентир	Отношение	Ожидаемое пороговое значение	Статус (состояние) запаса
$L_{\max 5\%}$	Средняя длина рыб, входящих в диапазон 95–100 процентов	$L_{\infty}$ – асимптотическая длина тела из уравнения роста Бергаланфи	$L_{\max 5\%}/L_{\infty}$	$>0.8$	Сохранение крупноразмерных особей
$L_{95\%}$	Длина тела при 95-м процентиле	То же	$L_{95\%}/L_{\infty}$	То же	То же
$P_{\text{mega}}$	Доля рыб, длина которых превышает ориентир $L_{\text{opt}}$ на 10% и выше: $L_{\text{opt}} \times 1.1$	0.3–0.4	$P_{\text{mega}}$	$>0.3$	»
$L_{25\%}$	Длина тела при 25-м процентиле	$L_{\text{mat}}$ – длина тела, при которой 50% особей являются половозрелыми	$L_{25\%}/L_{\text{mat}}$	$>1$	Сохранение мелкоразмерных впервые нерестующих особей
$L_c$	Длина рыб первой поимки (длина, соответствующая 50% молды выборки)	То же	$L_c/L_{\text{mat}}$	$>1$	То же
$L_{\text{mean}}$	Средняя длина особей, длина которых $> L_c$	$L_{\text{opt}} = \frac{3}{3 + \frac{M}{k}} \times L_{\infty}$ – теоретическая длина тела, при которой достигается оптимальный улов	$L_{\text{mean}}/L_{\text{opt}}$	$\approx 1$	Оптимальный улов
$L_{\text{maxy}}$	Размерный класс с наибольшей биомассой в улове	То же	$L_{\text{maxy}}/L_{\text{opt}}$	$\approx 1$	То же
$L_{\text{mean}}$	Средняя длина особей, длина которых $> L_c$	$L_F = M = (0.75L_c + 0.25L_{\infty})$ – длина рыб, при которой достигается MSY	$L_{\text{mean}}/L_F = M$	$\geq 1$	Концепция MSY

Примечание. MSY – максимальный устойчивый улов (maximum sustainable yield).

**Таблица 2.** Значения параметров уравнения темпа роста Берталанфи для сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* по данным ихтиологических материалов, собранных в 1990–2000 и 2016–2021 гг. в дельте р. Волга

Период, гг.	$L_{\infty}$	$k$	$t_0$
1990–2000	$51.1 \pm 5.4 (0.002)$	$0.19 \pm 0.08 (0.100)$	$-1.95 \pm 1.33 (0.240)$
2016–2021	$44.4 \pm 1.0 (2.45 \times 10^{-5})$	$0.32 \pm 0.04 (0.004)$	$-0.15 \pm 0.31 (0.658)$

**Примечание.**  $L_{\infty}$  – асимптотическая длина, см;  $k$  – коэффициент Броуди, год<sup>-1</sup>;  $t_0$  – гипотетический возраст, при котором длина рыбы равнялась бы нулю. Приведены оценённые значения параметров уравнения и их соответствующие стандартные ошибки, в скобках – уровень значимости ( $p$ ).

1) пополнение, селективность и промысловая смертность ( $F$ ) постоянны во времени; 2) селективность улова должна описываться логистической кривой, но не куполообразной. Из-за допущения о равновесности пополнения запаса гистограммы распределения частот длин должны быть приведены к одномодальной форме с применением подходящего диапазона класса длин.

Для нахождения параметра  $L_{\infty}$  сельди-черноспинки использовали пакет FSA ver. 0.8.32 (Ogle et al., 2021) программной среды R. Этот пакет позволяет оценить значения параметров  $L_{\infty}$ ,  $k$  и гипотетического возраста ( $t_0$ ), при котором длина рыбы равнялась бы нулю.

Ориентиры  $L_{\text{mat}}$  для 1990–2000 и 2016–2021 гг. были найдены через построенные по уравнению линейного роста Берталанфи модели с привлечением данных литературы по возрастному составу уловов в рассматриваемые периоды.

Необходимые расчёты для метода LBI были выполнены на основе представленного в общем доступе скрипта LBI\_shiny программной среды R на странице репозитория GitHub международной организации ICES ([https://github.com/ices-tools-dev/LBI\\_shiny.git](https://github.com/ices-tools-dev/LBI_shiny.git)), построение графиков и статистические оценки также проводили в программной среде R (R Core Team, 2021).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Оценка биологических параметров сельди-черноспинки

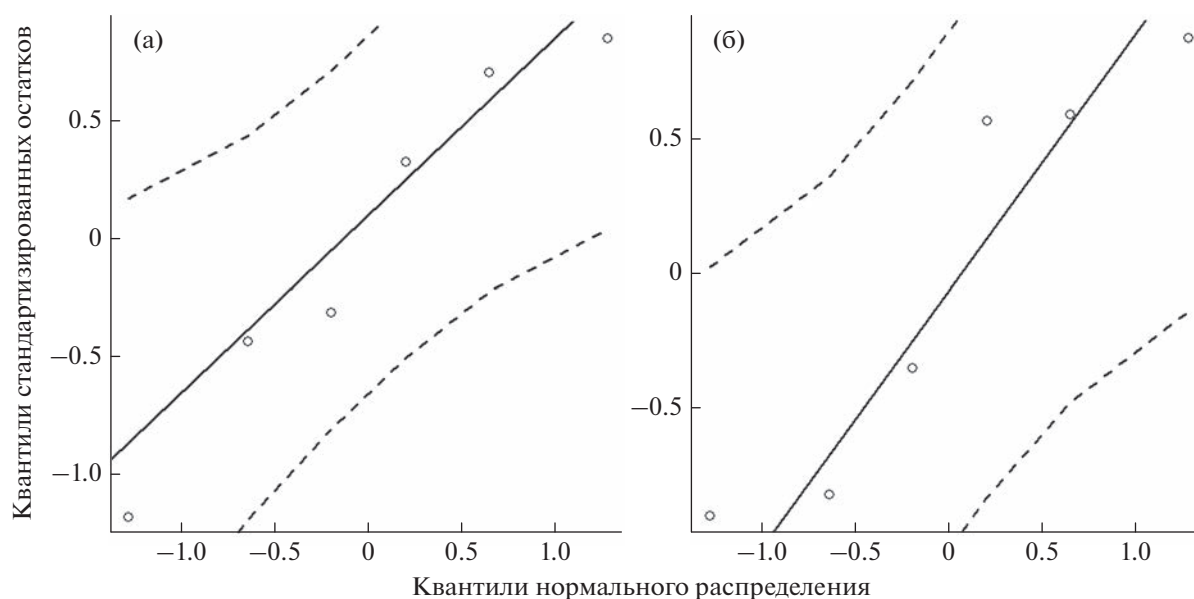
*Оценка параметров уравнения Берталанфи.* Параметры моделей линейного роста сельди-черноспинки были рассчитаны для каждого рассматриваемого периода (1990–2000 и 2016–2021 гг.) по соответствующим данным для этих лет (табл. 2). Оценки параметров  $k$  (для 1990–2000 гг.) и  $t_0$  (для 1990–2000 и 2016–2021 гг.) свидетельствуют о статистической недостоверности их значений, величины уровней значимости ( $p$ ) превышают критическое значение 0.05. В связи с этим мы провели дополнительный анализ на нормальность распределения стандартизированных остатков полученных моделей роста. Квантиль-квантиль графики свидетельствуют о нормальной форме распределения остатков (рис. 1). Значения квантилей остатков

лежат вдоль прямой теоретического нормального распределения и не выходят за границы 95%-ного доверительного интервала. Статистический тест Шапиро–Уилка также подтвердил нормальность распределения остатков модели для 1990–2000 ( $W = 0.94$ ,  $p = 0.67$ ) и 2016–2021 ( $W = 0.86$ ,  $p = 0.19$ ) гг. Эмпирические данные на графике зависимости  $FL$  от возраста рыбы расположены довольно близко (в границах 95%-ного доверительного интервала) к полученной модельной кривой линейного роста для обоих рассматриваемых периодов (рис. 2). Таким образом, несмотря на низкую значимость некоторых оценок параметров модели, рассчитанные значения параметров уравнения Берталанфи допустимо использовать в дальнейшем исследовании. Провести сравнительный анализ полученных моделей линейного роста сельди-черноспинки с предыдущими исследованиями невозможно, так как такая работа была выполнена впервые для этого вида рыб из дельты р. Волга.

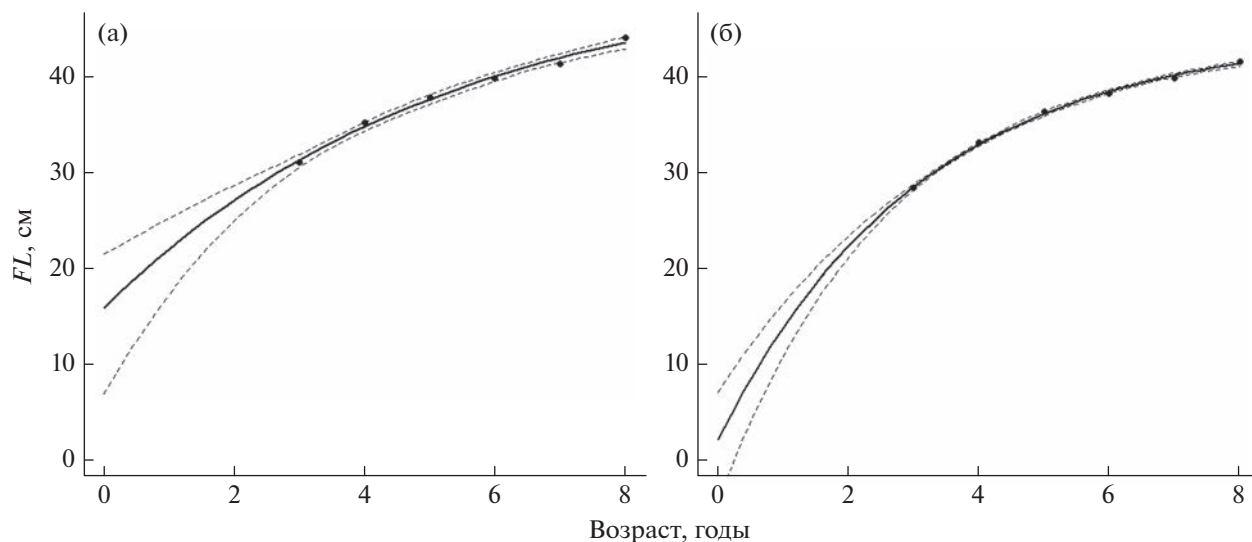
*Оценка ориентира  $L_{\text{mat}}$ .* С использованием данных литературы по возрасту массового созревания сельди-черноспинки (Войнова и др., 2022) и подставлением этих величин в построенную модель роста для каждого рассмотренного периода были найдены искомые значения ориентира  $L_{\text{mat}}$ . В 1990–2000 гг. 50% сельди-черноспинки созревало в ~ 4 года. В настоящий период (2016–2021) темп созревания особей этого вида увеличился, и основная масса рыб созревает на 3-м году жизни. Расчёты показали, что 50% рыб в первом рассматриваемом периоде созревали при  $FL$  34.6 см, а во втором – 28.2 см.

*Описание вариационного ряда  $FL$  для 1990–2000 и 2016–2021 гг.* В 1990–2000 гг. уловы сельди-черноспинки были представлены особями  $FL$  24–47 см с преобладанием рыб центральных классов распределения (диапазон между 25 и 75%-ным процентилями)  $FL$  33–41 см (рис. 3). Средний размер рыб в зависимости от года варьировал от 35.3 до 40.2 см с динамикой увеличения в 1999 и 2000 гг., о чём свидетельствует смещение в правую сторону гистограмм размерного ряда за эти годы.

Размерный ряд сельди-черноспинки из уловов 2016–2021 гг. представлен более широким диапазоном  $FL$  – 18–45 см с преобладанием рыб  $FL$  26–32 см (рис. 4). В сравнении с 1990–2000 гг. варьи-



**Рис. 1.** Распределение квантилей стандартизованных остатков (○) по двум построенным по уравнению Бергаланфи моделям линейного роста сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* и теоретически ожидаемых квантилей нормального распределения (—): а – 1990–2000 гг., б – 2016–2021 гг.; (- -) – 95%-й доверительный интервал теоретического нормального распределения.



**Рис. 2.** Зависимость длины сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга от возраста: а – 1990–2000 гг., б – 2016–2021 гг.; (•) – эмпирические данные, (—) – кривая линейного роста, смоделированная уравнением Бергаланфи, (- -) – 95%-й доверительный интервал. Здесь и на рис. 3–7 приведена длина по Смитту ( $FL$ ).

рование средней длины по годам в 2016–2021 гг. менее выражено и составило 28.8–31.0 см. Во все анализируемые годы наблюдается одновершинное распределение размерного ряда, что соответствует требованиям метода и позволяет использовать эти данные в качестве входной информации для анализа по методу LBI.

#### Описание индикаторов LBI для сельди-черноспинки

В 1990–2000 гг. динамика индикатора сохранения крупноразмерных особей ( $L_{\max 5\%}$ ) и верхней границы центральной группы наиболее часто встречающихся рыб в уловах ( $L_{75\%}$ ) стабильна до 1998 г. (рис. 5а). Несмотря на соответствие инди-

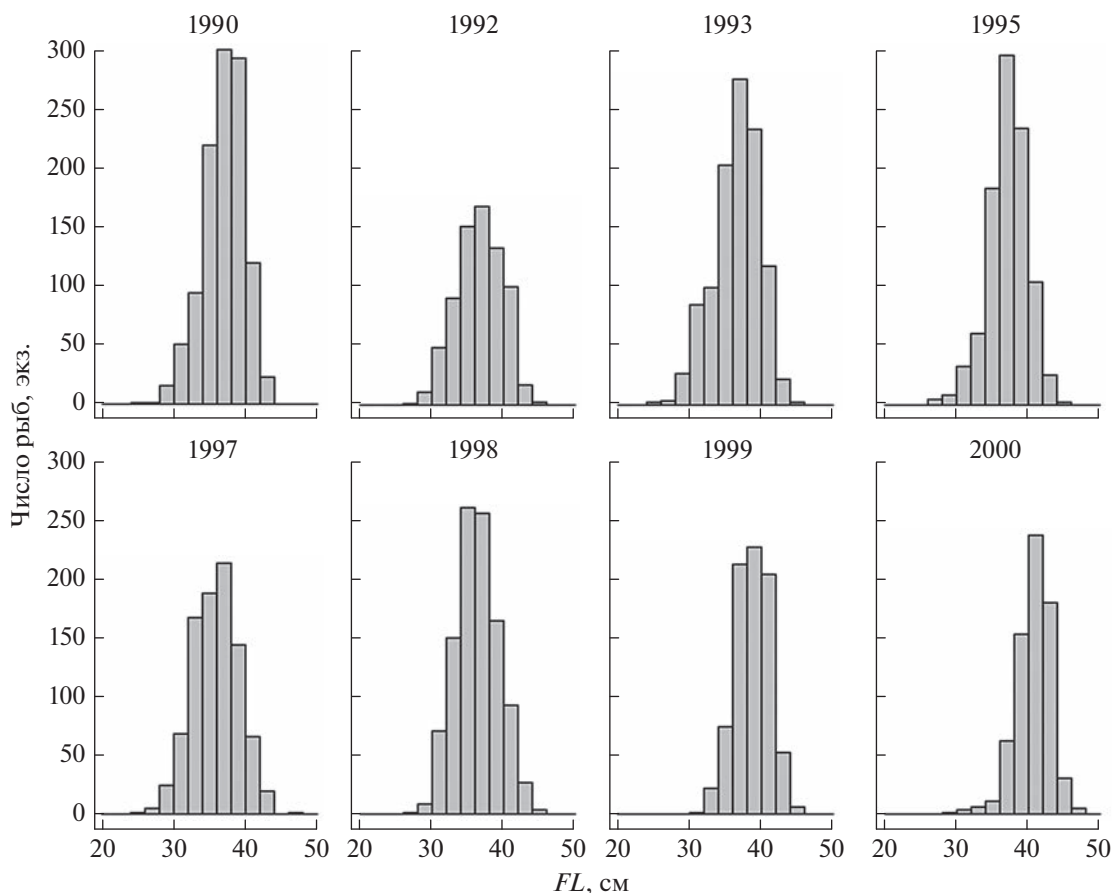


Рис. 3. Размерный состав сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* из неводных уловов в дельте р. Волга в 1990–2000 гг.

катора  $L_{max5\%}$  пороговому значению отношения  $L_{max5\%}/L_{\infty}$  (сохранения крупноразмерных особей), индикатор  $P_{mega}$  указывал на дефицит крупных рыб –  $P_{mega} < 0.30$  до 1998 г. включительно (табл. 3).

В некоторые годы (1992, 1993, 1997, 1998) наблюдался перелов впервые нерестующих рыб – параметры  $L_c$  и  $L_{25\%}$  опускались ниже граничного ориентира  $L_{mat}$ . В последующие 1999 и 2000 гг. прослеживается явное повышение доли крупно-

Таблица 3. Значения отношений индикатор/ориентир для сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга в 1990–2000 гг.

Отношение	Пороговое значение	1990	1992	1993	1995	1997	1998	1999	2000
$L_{max5\%}/L_{\infty}$	>0.8	0.81	0.81	0.80	0.81	0.81	0.81	0.82	0.86
$L_{95\%}/L_{\infty}$	То же	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.84
$P_{mega}$	0.3–0.4	0.24	0.24	0.24	0.24	0.16	0.19	0.48	0.78
$L_{25\%}/L_{mat}$	>1	1.01	0.95	0.95	1.01	0.95	0.95	1.07	1.13
$L_c/L_{mat}$	То же	1.01	0.95	1.01	1.01	0.90	0.95	1.01	1.13
$L_{mean}/L_{opt}$	$\approx 1$	1.09	1.07	1.09	1.09	1.03	1.06	1.12	1.19
$L_{maxy}/L_{opt}$	$\approx 1$	1.09	1.09	1.09	1.09	1.03	1.03	1.14	1.20
$L_{mean}/L_F = M$	$\geq 1$	0.95	0.97	0.95	0.95	0.98	0.96	0.98	0.97

Примечание. Здесь и в табл. 4: (■) – значение отношения ниже порогового, (□) – равно пороговому или выше его; определения индикаторов и ориентиров, а также статусы (состояние) запаса для отношений приведены в табл. 1.

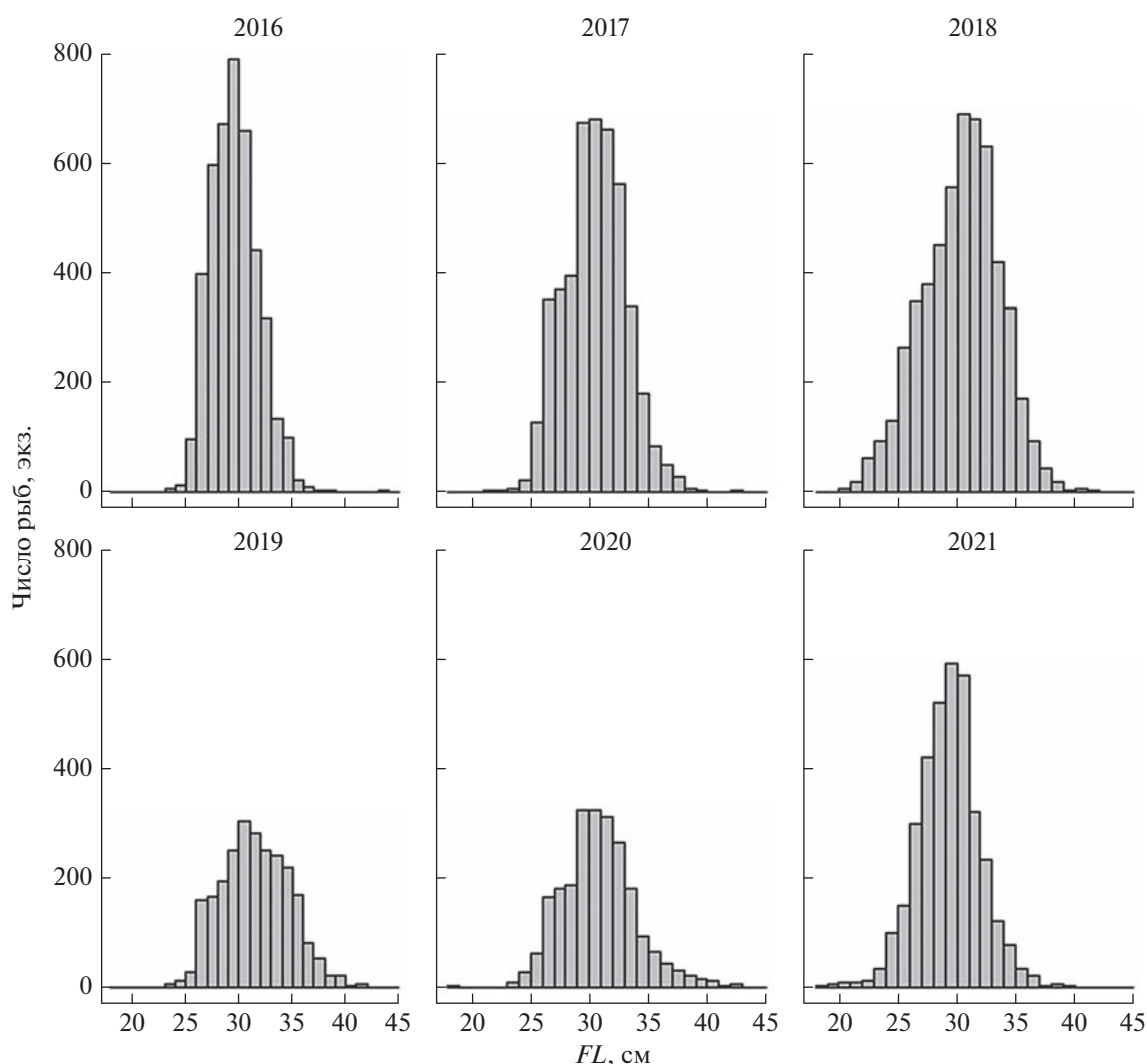


Рис. 4. Размерный состав сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* из неводных уловов в дельте р. Волга в 2016–2021 гг.

размерных особей в уловах, отразившееся в увеличении значений всех индикаторов:  $L_{95\%}$ ,  $L_{\max 5\%}$ ,  $L_{25\%}$ ,  $L_{75\%}$ ,  $P_{\text{mega}}$  и  $L_c$ . Индикаторы сохранения мелко- и крупноразмерных рыб в 2016–2021 гг. свидетельствуют, что в запасе недостаточное количество крупноразмерных рыб:  $P_{\text{mega}}$  ниже порогового уровня. При дефиците крупноразмерных рыб наблюдается стабильный перелов мелкоразмерной группы (рис. 5б, табл. 4).

Ориентиры  $L_{\text{opt}}$  оказались близкими к уровням ориентиров  $L_{\text{mat}}$  для обоих периодов (1990–2000 и 2016–2021) (рис. 6), что соответствует общим биологическим представлениям в ихтиологии о достижении максимальной биомассы отдельно взятого поколения к возрасту массового полового созревания или несколько позже (Тюрин, 1962; Лукашов, 1970; Шибяев, 2014). Динамика значений  $L_{\text{mean}}$  и  $L_{\text{max}}$  и их отношений к ориентиру  $L_{\text{opt}}$  в 1990–2000 гг. указывает, что до 1999 г. эксплуа-

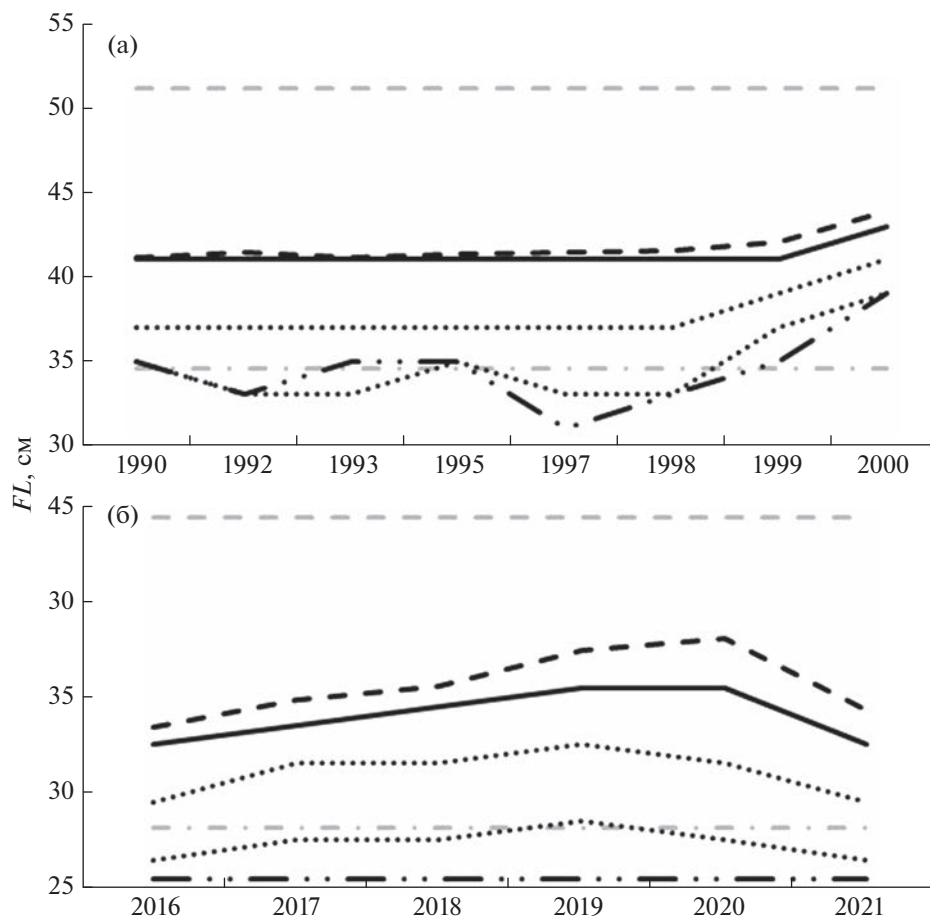
тация велась в рамках оптимального улова, т.е. в улов входили рыбы, которые формируют основную биомассу запаса (рис. 6а, табл. 3). В современный период (2016–2021) эксплуатация запаса сельди-черноспинки в рамках правил интерпретации результатов анализа по методу LBI также ведётся в оптимальном режиме промыслового изъятия рыб по длине, обеспечивающем наибольшие уловы (рис. 6б, табл. 4).

Индикатор  $L_{\text{mean}}$  в 1990–2000 и 2016–2021 гг. несколько ниже ориентира  $L_{F=M}$  за исключением 2019 и 2020 гг. Отношение  $L_{\text{mean}}/L_{F=M}$  не достигает целевого значения  $\geq 1$ , что указывает на несоответствие эксплуатации запаса концепции MSY (рис. 7; табл. 3, 4).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Значения параметров уравнения линейного роста Бергаланфи для сельди-черноспинки для





**Рис. 5.** Динамика индикаторов  $L_c$  (—••—),  $L_{25\%}$  и  $L_{75\%}$  (••••),  $L_{95\%}$  (— —) и  $L_{\max 5\%}$  (— · —) относительно ориентиров  $L_{\text{mat}}$  (—••—) и  $L_{\infty}$  (— —) по результатам анализа методом LBI для сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга (статус сохранения мелко- и крупноразмерных особей): а – 1990–2000 (кроме 1991, 1994, 1996) гг., б – 2016–2021 гг.

обоих рассмотренных периодов (1990–2000 и 2016–2021) свидетельствуют, что в настоящее время размерные параметры популяции этого вида снизились, а темп линейного роста особей увеличился, что подтверждают предыдущие исследования (Войнова, 2013; Лепилина и др., 2016; Войнова и др., 2022). Значение  $L_{\infty}$  сократилось с 51.1 до 44.4 см для соответствующих периодов. Интерпретация изменения значения  $k$  в большую сторону в 2016–2021 гг., согласно публикации Мины и Клевезаль (1976), свидетельствует об увеличении темпа линейного роста рыб (табл. 2). Так как модели описывают различную динамику темпа роста особей, а следовательно, и свойства запаса рыб для каждого периода, в расчётах по методу LBI параметры уравнения были использованы отдельно для соответствующих периодов.

Результаты анализа по методу LBI свидетельствуют, что режим промысла в 1990–1998 гг. соответствовал статусу оптимального улова, обеспе-

чивая теоретический наибольший улов. Но, несмотря на оптимальный размер вылавливаемых рыб, наблюдался перелов с точки зрения концепции MSY, на что указывает отношение  $L_{\text{mean}}/L_F = M$ . Как следствие систематического перелова отмечался недостаток крупноразмерных рыб – отношение  $L_{95\%}/L_{\infty}$  не достигало пороговой величины  $>0.8$  (сохранение крупноразмерных особей). Дефицит мегапроизводителей указывает на то, что запас сельди-черноспинки в тот период находился в неустойчивом состоянии, которое потенциально могло привести к стремительному сокращению численности при резком ухудшении условий нагула или нереста. Одновременно с недостатком крупноразмерных рыб периодически был отмечен перелов впервые нерестующих рыб.

В 1999 и 2000 гг. увеличились размеры центральной, наиболее многочисленной, группы рыб в уловах в диапазоне от  $L_{25\%}$  до  $L_{75\%}$  и доля мегапроизводителей на фоне сокращения мелко-

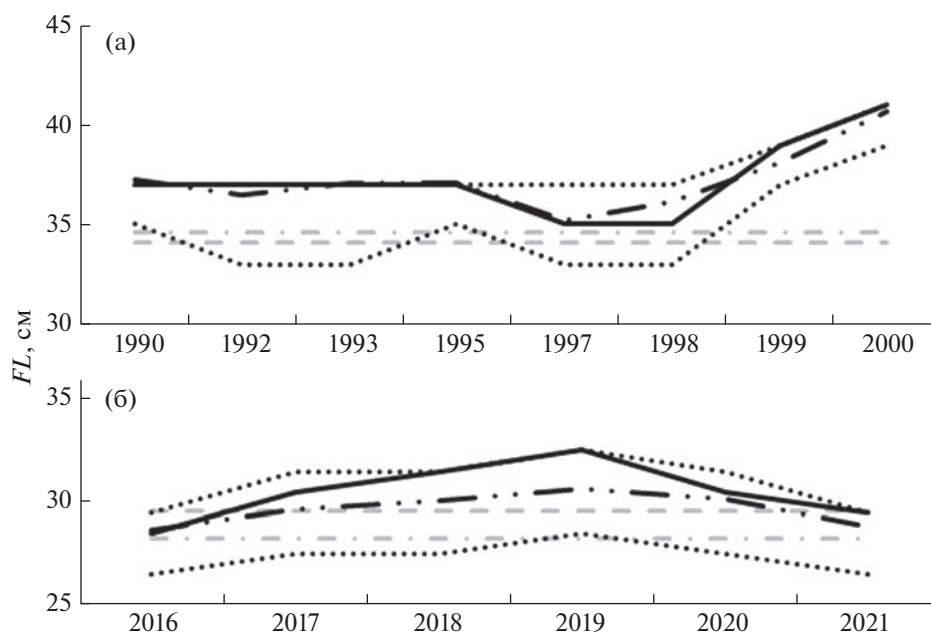
**Таблица 4.** Значения отношений индикатор/ориентир для сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга в 2016–2021 гг.

Отношение	Пороговое значение	2016	2017	2018	2019	2020	2021
$L_{\max 5\%}/L_{\infty}$	>0.8	0.75	0.78	0.80	0.84	0.86	0.77
$L_{95\%}/L_{\infty}$	То же	0.73	0.75	0.78	0.80	0.80	0.73
$P_{\text{mega}}$	0.3–0.4	0.03	0.08	0.12	0.23	0.13	0.04
$L_{25\%}/L_{\text{mat}}$	>1	0.94	0.98	0.98	1.01	0.98	0.94
$L_c/L_{\text{mat}}$	То же	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
$L_{\text{mean}}/L_{\text{opt}}$	$\approx 1$	0.97	1.00	1.01	1.04	1.02	0.97
$L_{\text{maxy}}/L_{\text{opt}}$	$\approx 1$	0.96	1.03	1.06	1.10	1.03	1.00
$L_{\text{mean}}/L_{F=M}$	$\geq 1$	0.95	0.98	0.99	1.01	1.00	0.95

размерных рыб. Учитывая тот факт, что в эти годы использовали невода с той же ячейей, что и в предыдущие, можно утверждать, что размерный состав уловов не мог измениться из-за смены орудия лова. Это указывает на то, что пополнение промыслового запаса было или незначительным, или отсутствовало полностью. Эти выводы подтверждают исследования, проведённые ранее (Зыков и др., 2000; Седов и др., 2004). Анализ возрастного состава уловов 1999 и 2000 гг. показал, что в 1999 г. в уловах отсутствовали рыбы трёхлетнего возраста, то есть поколения 1996 г. В уловах

2000 г. доля трёхлеток была минимальной (0.4%), сократилось количество четырёхлеток с 24.0 до 3.2%. Вместе с тем в эти годы возросла доля старшевозрастных рыб 6–8 лет, что также отразилось в результатах анализа по методу LBI – увеличились значения индикаторов  $L_{\max 5\%}$ ,  $L_{95\%}$  и  $P_{\text{mega}}$ .

Результаты качественной оценки состояния запаса сельди-черноспинки за 1990–1998 гг. свидетельствуют, что нарастание уловов с 1.31 до 2.03 тыс. т ввело запас сельди в неустойчивое состояние. Отсутствие пополнения от поколения 1996 г. и одновременно увеличение вылова до



**Рис. 6.** Динамика индикаторов  $L_{25\%}$  и  $L_{75\%}$  (••••),  $L_{\text{mean}}$  (—•••—) и  $L_{\text{maxy}}$  (—) относительно ориентиров  $L_{\text{mat}}$  (— — —) и  $L_{\text{opt}}$  (— — —) по результатам анализа методом LBI у сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга (статус оптимального улова): а – 1990–2000 (кроме 1991, 1994, 1996) гг., б – 2016–2021 гг.

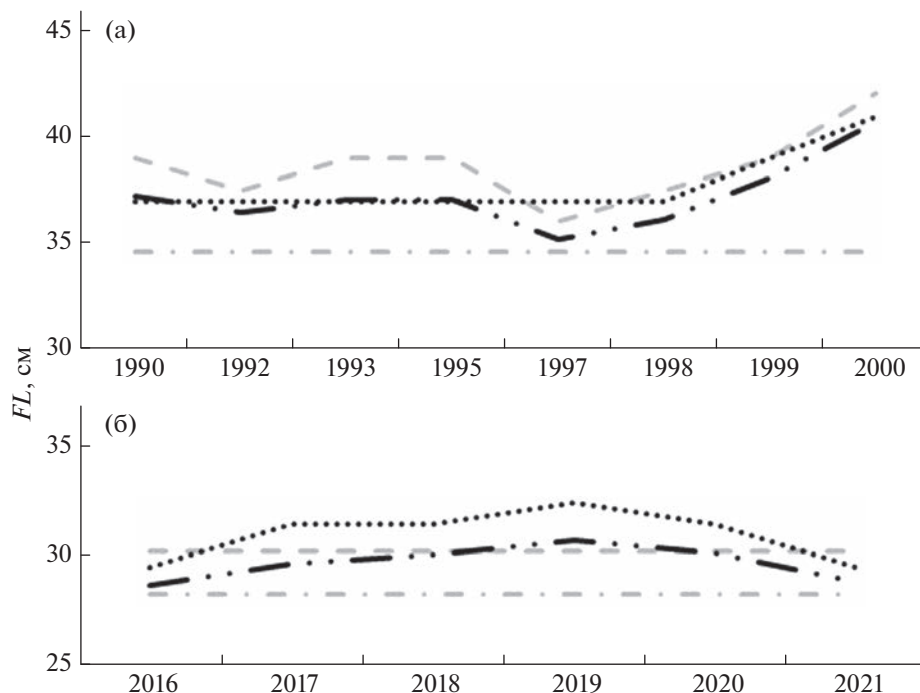


Рис. 7. Динамика индикаторов  $L_{\text{mean}}$  (—●—),  $L_{75\%}$  (●●●) относительно ориентиров  $L_{\text{mat}}$  (---) и  $L_{F=M}$  (— · —) по результатам анализа методом LBI у сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга (в рамках концепции MSY): а – 1990–2000 (кроме 1991, 1994, 1996) гг., б – 2016–2021 гг.

4.35 тыс. т в 1999 г. значительно подорвало запас. В 2000 г. вылов в объёме 1.04 тыс. т и крайне низкое пополнение (0.4%) от поколения 1997 г. окончательно привели запас к коллапсу, о чём свидетельствует улов 2001 г., равный 0.009 тыс. т, а среднее значение годовых уловов за 2001–2005 гг. составило 0.004 тыс. т (Водовская, 2001; Войнова и др., 2022).

В настоящее время (2016–2021), несмотря на оптимальный режим промысла по ориентиру  $L_{\text{opt}}$ , состояние запаса сельди-черноспинки неудовлетворительное (табл. 4). Вследствие снижения в запасе доли крупноразмерных рыб после критического падения численности в 2001 г. происходит перманентный перелов мелкоразмерных впервые нерестующих особей. Преждевременный вылов рыб таких размеров приводит в свою очередь к дефициту крупноразмерных особей, в этом случае запасу присваивается статус неустойчивого состояния. Изъятие впервые нерестующих рыб обусловлено использованием в промысле мелкочейного невода с ячейёй  $28 \times 36 \times 40$  мм, в котором застревают мелкие рыбы. Мелкая сельдь считается некондиционной (не пользуется спросом у населения) и после поимки отбраковывается рыбаками, что приводит к её массовой гибели. Сопоставление объёмов вылова 2016–2021 гг. (Войнова и др., 2022) с результатами анализа по методу LBI за этот же период показывает, что происходит незначительный перелов в рамках концепции MSY.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение метода LBI позволяет по данным неводных уловов оценить качественное состояние запаса сельди-черноспинки и выявить влияние режима эксплуатации на его размерную структуру. В 1990–1998 и 2016–2021 гг. зафиксирован дефицит крупноразмерных рыб, что свидетельствует о неустойчивом и уязвимом состоянии запаса перед неблагоприятными условиями нагула и нереста, которые могут привести к резкому сокращению численности популяции. Использование в современном промысле мелкочейного невода ( $28 \times 36 \times 40$  мм) приводит к преждевременному изъятию впервые нерестующих особей, что в дальнейшем сказывается на снижении доли крупноразмерных особей в запасе. В совокупности это даёт крайне медленный эффект восстановления запаса сельди дельты р. Волга. После коллапса, случившегося в 2001 г., запас за 20 лет так и не восстановился, хотя за это время сменилось почти три поколения с учётом максимального возраста особей в 8 лет. Таким образом, если продолжать использовать мелкочейный невод при промысле сельди-черноспинки, её размерно-весовые характеристики, а следовательно, и биомасса запаса в ближайшем будущем вряд ли восстановятся до уровня 1990-х гг.

Метод LBI помимо его отдельного применения полезно использовать совместно с другими

методами оценки запаса с ограниченной информацией III уровня, согласно классификации информативной обеспеченности запасов в соответствии с Приказом Росрыболовства<sup>2</sup> (Бабаян и др., 2018). Как показала настоящая работа, анализ размерной структуры уловов по методу LBI позволяет выявить тревожные тенденции, происходящие в запасе, и вовремя дать рекомендации к необходимым изменениям в его эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО, 312 с.
- Беляева В.Н., Казанчев Е.Н., Распопов В.М. 1989. Каспийское море. М.: Наука, 236 с.
- Бэр К.М. 1854. Материалы для истории рыболовства в России и в принадлежащих ей морях // Учен. зап. Императ. АН по первому и третьему отделениям. Т. 2. № 4. С. 465–544.
- Водовская В.В. 2001. Проходная сельдь (*Alosa kessleri* Grimm) Каспия: запасы и перспективы промыслового использования // Состояние запасов промысловых объектов на Каспии и их использование. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ. С. 246–252.
- Войнова Т.В. 2013. Динамика уловов и биологические показатели сельди-черноспинки в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне в современных условиях (река Волга и ее водотоки) // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. № 3. С. 25–29.
- Войнова Т.В., Барабанов В.В., Чаплыгин В.А. 2022. О причинах снижения нерестового запаса сельди-черноспинки на Нижней Волге // Вопр. рыболовства. Т. 23. № 2. С. 189–200.  
<https://doi.org/10.36038/0234-2774-2022-23-2-189-200>
- Голубов Б.Н., Катунин Д.Н. 2002. Импульс гидровулканизма и дегазации недр Дербентской котловины как возможный фактор массовой гибели рыбы в Каспийском море весной 2001 г. // Матер. Междунар. конф. “Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ”. М.: ГЕОС. С. 31–33.
- Гримм О.А. 1887. Астраханская сельдька. СПб: Тип. В. Демакова, 43 с.
- Зыков Л.А., Сидорова М.А., Кушнарченко А.И. и др. 2000. Состояние запасов и прогноз добычи полупроходных и речных рыб, проходной сельди и белорыбицы на 2001 г. в водоемах России и северокаспийского района // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 1999 г. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ. С. 103–108.
- Иванов В.П. 2000. Биологические ресурсы Каспийского моря. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 100 с.
- Кесслер К.Ф. 1874. Описание рыб, принадлежащих к семейству, общим Черному и Каспийскому морям // Тр. СПб о-ва естествоиспытателей. Т. 5. Вып. 1. С. 191–324.
- Кесслер К.Ф. 1877. Рыбы, водящиеся и встречающиеся в Арало-Каспийско-Понтийской ихтиологической области // Тр. Арало-Касп. экспед. Вып. 4. 399 с.
- Киселевич К.А. 1937. Сельди Северного Каспия (научно-популярный очерк). Сталинград: Обл. книгоизд-во, 92 с.
- Козоброд И.Д., Пятинский М.М., Власенко Е.С. 2021. Индикаторная оценка состояния популяции рыба в условиях дефицита биологической информации в Азовском море методом LBI // Рыб. хоз-во. № 3. С. 68–75.  
<https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-3-68-75>
- Лепилина И.Н., Николенков А.А., Войнова Т.В., Степанова Т.Г. 2016. Состояние запасов сельди-черноспинки, биологические, физиолого-биохимические показатели и трофологический анализ производителей, мигрирующих в реку Волгу // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. № 2. С. 43–52
- Лукашов В.Н. 1970. Метод расчета наименьшей промысловой меры на рыбу // Тр. ВНИРО. Т. 71. № 2. С. 281–293.
- Мина М.В., Клевезаль Г.А. 1976. Рост животных. М.: Наука, 291 с.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 323 с.
- Седов С.И., Парицкий Ю.А., Зыков Л.А. и др. 2004. Состояние запасов каспийских морских рыб и перспективы их промыслового использования // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2003 г. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ. С. 360–368.
- Судаков Г.А., Власенко А.Д., Ходоревская Р.П. и др. 2011. Инструкции по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 193 с.
- Тюрин П.В. 1962. Фактор естественной смертности рыб и его значение при регулировании рыболовства // Вопр. ихтиологии. Т. 2. Вып. 3 (24). С. 403–427.
- Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во АН СССР, 164 с.
- Шубаев С.В. 2014. Промысловая ихтиология. Калининград: Аксиос, 535 с.
- Bertalanffy L. 1964. Basic concepts in quantitative biology of metabolism // Helgoländ. Wiss. Meeresunter. V. 9. P. 5–37.  
<https://doi.org/10.1007/BF01610024>
- Beverton R.J.H. 1987. Longevity in fish: some ecological and evolutionary considerations // Evolution of longevity in animals. Boston: Springer. P. 161–185.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1939-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1939-9_12)
- Caddy J.F., Wade E., Surette T. et al. 2005. Using an empirical traffic light procedure for monitoring and forecasting in the Gulf of St. Lawrence fishery for the snow crab, *Chionoecetes opilio* // Fish. Res. V. 76. № 1. P. 123–145.  
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.06.003>
- Cope J.M., Punt A.E. 2009. Length-based reference points for data-limited situations: applications and restrictions //

<sup>2</sup> Приказ Росрыболовства от 06 февраля 2015 г. № 104 “О представлении материалов, обосновывающих общие допустимые уловы водных биологических ресурсов во внутренних водах Российской Федерации, в том числе во внутренних морских водах Российской Федерации, а также в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях, а также внесении в них изменений”.

- Mar. Coast. Fish. V. 1. № 1. P. 169–186.  
<https://doi.org/10.1577/C08-025.1>
- Craig J.F.* 1985. Aging in fish // *Can. J. Zool.* V. 63. № 1. P. 1–8.  
<https://doi.org/10.1139/z85-001>
- Froese R.* 2004. Keep it simple: Three indicators for controlling overfishing // *Fish Fish.* V. 5. № 1. P. 86–91.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2004.00144.x>
- Froese R., Binohlan C.* 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data // *J. Fish Biol.* V. 56. № 4. P. 758–773.  
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00870.x>
- Hordyk A.R., Ono K., Sainsbury K.J. et al.* 2015a. Some explorations of the life history ratios to describe length composition, spawning-per-recruit, and the spawning potential ratio // *ICES J. Mar. Sci.* V. 72. № 1. P. 204–216.  
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst235>
- Hordyk A.R., Ono K., Valencia S.R. et al.* 2015b. A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries // *Ibid.* V. 72. № 1. P. 217–231.  
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu004>
- ICES. 2014. Report of the workshop on the development of quantitative assessment methodologies based on life-history traits, exploitation characteristics and other relevant parameters for data-limited stocks (WKLIFE IV) // *ICES CM 2014/ACOM:54*. Copenhagen: ICES Headquarters, 223 p.
- ICES. 2015. Report of the fifth workshop on the development of quantitative assessment methodologies based on life-history traits, exploitation characteristics and other relevant parameters for data-limited stocks (WKLIFE V) // *ICES CM 2015/ACOM:56*. Copenhagen: ICES Headquarters, 157 p.
- ICES. 2018. Technical Guidelines – ICES reference points for stocks in categories 3 and 4 // *ICES Tech. Guidelines. Report*. Copenhagen: ICES Headquarters, 50 p.  
<https://doi.org/10.17895/ices.pub.4128>
- ICES. 2020. Baltic fisheries assessment working group (WGBFAS) // *ICES Sci. Rep.* V. 2. № 45. 643 p.  
<https://doi.org/10.17895/ices.pub.6024>
- McDonald G., Harford B., Arrivillaga A. et al.* 2017. An indicator-based adaptive management framework and its development for data-limited fisheries in Belize // *Mar. Policy.* V. 76. P. 28–37.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.027>
- Ogle D.H., Wheeler P., Dinno A.* 2021. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.32 (<https://github.com/droglenc/FSA>. Version 09/2022).
- Probst W.N., Kloppmann M., Kraus G.* 2013. Indicator-based status assessment of commercial fish species in the North Sea according to the EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD) // *ICES J. Mar. Sci.* V. 70. № 3. P. 694–706.  
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst010>
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (<https://www.R-project.org>. Version 09/2022).
- Solemdal P.* 1997. Maternal effects – a link between the past and the future // *J. Sea Res.* V. 37. № 3–4. P. 213–227.  
[https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(97\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(97)00029-4)