

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 597.54(262.81)(06)

ОЦЕНКИ «СИЛЫ ЦЕЛИ» БОЛЬШЕГЛАЗОЙ КИЛЬКИ  
*CLUPEONELLA GRIMMI* КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2016 г. П. Заре<sup>1</sup>, С.В. Шибаев<sup>1</sup>, С. М. Касаткина<sup>2</sup>, Х. Фазли<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, 236022

<sup>2</sup>Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии, Калининград, 236022

<sup>3</sup>Исследовательский центр экологии Каспийского моря, Сари, Иран, 961  
E-mail: shibaev@klgtu.ru

Поступила в редакцию 25.11.2015 г.

Большеглазая килька *Clupeonella grimmii* является традиционным объектом иранского промысла в Каспийском море. Индексы численности, получаемые по данным акустических съемок, представляют важнейшую информацию для оценок состояния запасов и пространственного распределения этой рыбы. Точность оценки зависит от знания «силы цели», которая в настоящее время для большеглазой кильки изучена мало. Используя доступные данные акустических наблюдений *in situ*, сопровождаемые траловыми выборками, исследована зависимость «силы цели» (частота 38 кГц) данного вида каспийской кильки от таких биологических параметров, как длина и вес особей, половозрелость и коэффициент упитанности. Определение зависимости «сила цели» — длина рыбы затруднено ввиду высокой вариабельности «силы цели» в естественных условиях, связанной с изменчивостью индивидуальных биологических параметров одноразмерных особей. Учет этих факторов позволяет повысить точность гидроакустических исследований. В настоящей работе исследован эффект влияния ряда биологических показателей, таких как возраст, масса, стадия зрелости, коэффициент упитанности, на «силу цели». Показана значительная зависимость «силы цели» от доли созревших самок. Полученный для большеглазой кильки коэффициент  $B_{20} = -75,1$  дБ оказался на 3,5 дБ меньше, чем рассчитанный другими исследователями без учета биологических параметров рыбы. Полученное уравнение регрессии «силы цели» от длины рыбы  $TS = 20 \log L - 75,1$  сравнивается с оценками предыдущих исследований. **Ключевые слова:** большеглазая килька *Clupeonella grimmii*, акустические съемки, сила цели, Каспийское море, Иран.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море является одним из важнейших рыбохозяйственных бассейнов Ирана. Наиболее распространенными рыбами Каспийского моря являются три вида семейства сельдевых, в том числе анчоусовидная *Clupeonella engrauliformis*, каспийская *C. cultriventris caspia* и большеглазая килька *C. grimmii*. Эти рыбы не только играют важную роль в морских экосистемах как источник пищи для других видов, но и являются объектом иранского промысла.

Достижение устойчивого рыболовства в Каспийском море должно основываться на адекватной информации о динамике численности и закономерностях пространственного распределения основных промысловых видов рыб, важнейшим источником которой являются акустические съемки. Такие акустические съемки основных промысловых видов рыб (три вида килек) в иранских водах Каспийского моря проводились в 1995–1997 гг., а затем прекратились. Планируемое возобновление акустических съемок делает актуальным ревизию методики и данных 1995–1997 гг.

для совершенствования и разработки рекомендаций по выполнению будущих съемок. Это является весьма актуальным, так как другие, например международные, акустические съемки в Каспийском море не выполняются.

Одной из важнейших проблем количественной оценки численности и биомассы, по данным акустических съемок в Каспийском море, является малоизученность «силы цели» промысловых видов рыб, в частности большеглазой кильки.

Цель настоящей работы — исследование «силы цели» каспийской кильки на основе данных тралово-акустических съемок, выполненных в 1995–1997 гг., включая анализ влияния биологических параметров рыбы (длины, веса, процентного содержания половозрелых самок, коэффициента упитанности и соотношения вес—длина) на «силу цели».

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования «силы цели» большеглазой кильки были выполнены по данным измерений *in situ*. Сбор данных, включая одновременные акустические и траловые выборки, был выполнен на борту научно-исследовательского судна RV «Guilan» (траулер длиной 29,5 м с кормовым тралением). Данные были собраны в течение весеннего (1–21 мая) сезона 1997 г. (рис. 1).

Измерения «силы цели» (target strength, TS) были выполнены с использованием научного эхолота ЕК-500 (вибратор с расщепленным лучом, частота 38 кГц). Пороговый уровень регистрируемых эхосигналов составлял –70 дБ, что отвечало существующей практике измерений TS (Simmonds, MacLennan, 2005). Траления выполняли разноглубинным мелкоячейным тралом с размером ячеи начиная от крыльев трала 250 мм и 8 мм — в траловом мешке. Вертикальное раскрытие трала составляло 24 м, скорость тралений — 2,5 узла. Траления проводили в ночное время суток, используя тактику ступенчатого лова, в большинстве случаев обловленный слой глубин составлял 6–54 м.

Случайную выборку приблизительно в 3 кг рыбы брали из каждого улова, в ней обычно было около 150–210 экз. большеглазой кильки, которые сортировали по размерным классам с дискретностью 0,5 см. Коэффициент упитанности рыб рассчитывали по формуле:

$$K = \frac{W}{L^3} \times 100, \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент упитанности по Фультону;  $W$  — масса тела рыбы (г);  $L$  — длина по Смитту (до развилки хвостового плавника) (Ricker, 1975).

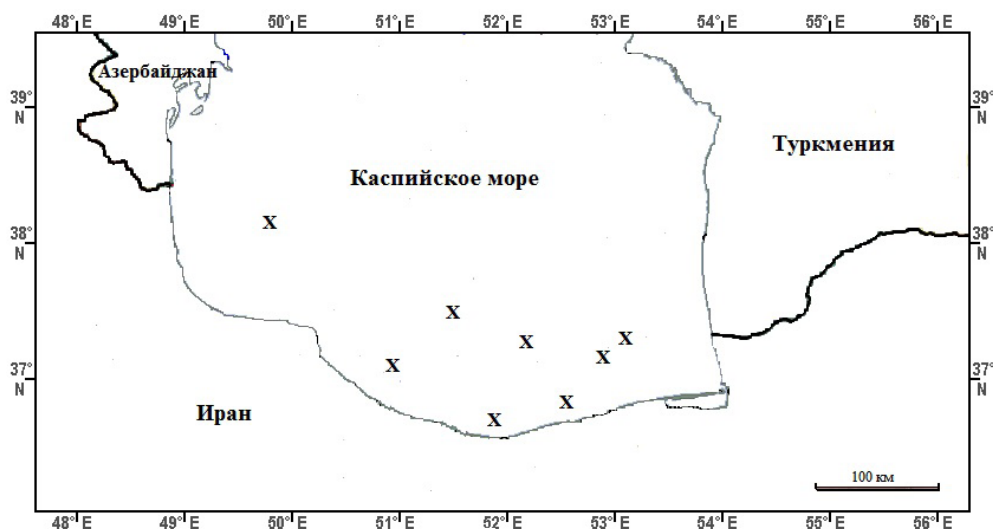


Рис. 1. Район проведения исследований: (х) — места акустических съемок.

Зависимость длина—масса описывали степенным уравнением  $W = aL^b$ , где  $W$  — общая масса,  $L$  — длина по Смитту.

Гистограммы распределения TS в облавливаемом слое глубин сравнивали с гистограммами распределения длины рыбы в улове. При этом во внимание принимали только те траления, когда большеглазая килька составляла не менее 85% от доли улова по численности.

Обобщенные линейные модели были использованы при анализе полученных данных для выявления зависимости TS от длины рыбы и влияния биологических характеристик рыбы на ее TS.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Большеглазая килька обитает в более глубоководных районах центральной и южной части Каспийского моря по сравнению с анчоусовидной и каспийской кильками. Эта рыба никогда не заходит в северную часть

Каспийского моря. Являясь стенобиотичным видом, она отличается от двух других видов килек адаптацией к большим глубинам: имеет увеличенный размер глаз с измененной структурой сетчатки (Priklad'ko, 1981). Годовые уловы большеглазой кильки увеличивались от 5125 т в 1995 г. до 18445 т в 1998 г. и затем снизились до 600 т и менее в течение 2008—2009 гг. (Fazli, 2011). Эти изменения произошли, когда в 1999 г. в воды Каспийского моря из Черного моря с балластными водами был завезен гребневик *Mnemiopsis leidyi* (Ivanov et al., 2001).

Оценка TS большеглазой кильки была выполнена с использованием восьми наборов данных (акустические и траловые выборки). В большинстве траловых выборок большеглазая килька составляла более 92% улова по численности и больше 95% по весу.

Средняя длина для большеглазой кильки в выборках колебалась от 10,1 до 10,9 см, средний вес — от 6,9 до 8,3 г (таблица).

Статистические характеристики биологического состояния большеглазой кильки по данным тралений

Переменная	Траление, №							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$n$	199	202	202	199	207	155	200	206
Длина $L$ , см:								
$x$	10,29	10,29	10,05	10,49	10,93	10,72	10,39	10,60
std	1,01	0,94	0,83	0,80	0,71	1,20	1,60	1,2
min	5,25	8,25	8,25	5,75	7,25	5,25	3,75	4,75
max	12,75	12,75	12,25	12,25	13,25	12,75	12,75	13,25
Масса тела, г:								
$x$	7,08	6,80	6,94	7,46	8,30	7,93	7,59	8,0
std	1,78	1,59	1,50	1,53	1,44	2,07	2,48	2,0
min	0,90	3,70	3,70	1,50	2,50	0,70	0,20	0,8
max	12,55	12,30	10,50	11,17	17,50	0,70	13,65	13,4
среднее $k$	0,64	0,61	0,68	0,64	0,63	0,62	0,63	0,65
Параметр LWR:								
$b$	2,97	2,72	2,64	2,67	2,96	3,24	3,37	2,86
$a$	0,007	0,012	0,015	0,014	0,007	0,004	0,003	0,009
$r^2$	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

**Примечание.**  $n$  — объем выборки, экз.;  $x$ , min, max — среднее, минимальное, максимальное значения соответственно; std — стандартное отклонение, LWR — уравнение зависимости длина—масса.

Средний коэффициент упитанности по Фультону для большеглазой кильки находился в диапазоне 0,61–0,68. Величина параметра  $b$  в уравнении масса–длина для большеглазой кильки составляла 2,64–3,37.

В уловах присутствовали особи большеглазой кильки с гонадами разных стадий зрелости: от неполовозрелых до отнерестившихся. Гонады большей части рыб находились на стадиях 2–4, и только некоторые рыбы были неполовозрелыми (стадия 1) или отнерестившимися (стадия 6). Доля самок и состояние их гонад значительно менялись от улова к улову (рис. 2).

Средние значения TS в выборках колебались от –49,3 до –58,3 дБ. Среднее значение TS, оцененное для объединенной выборки, составило –54,7 дБ со среднеквадратической ошибкой –1,1 дБ. В большинстве случаев распределение длины рыбы и TS было одномодальным. Примеры гистограмм TS и длины рыбы показаны на рис. 3.

Анализ показал, что из всех рассмотренных биологических факторов только доля зрелых самок (%MF) кильки (стадии 2–6) в регистрируемых одиночных целях имеет значительный эффект на TS (2) и  $B_{20}$  (3); доля зрелых самок в улове составила 67,8 и

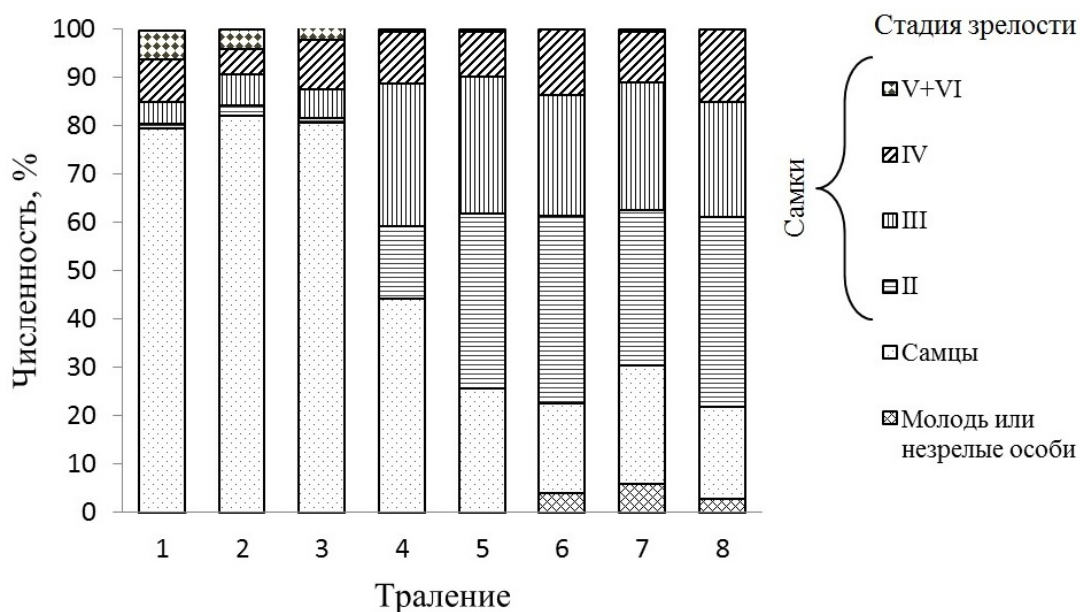


Рис. 2. Генеративная структура уловов большеглазой кильки.

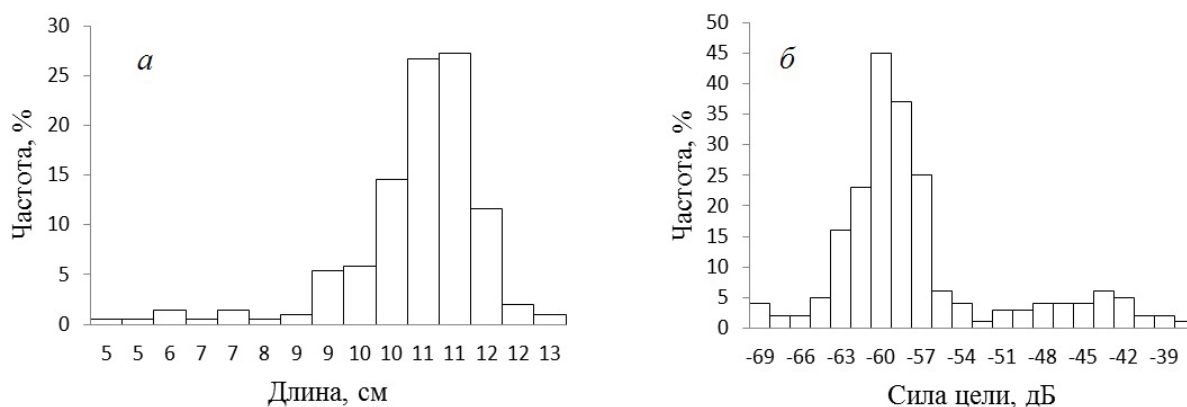
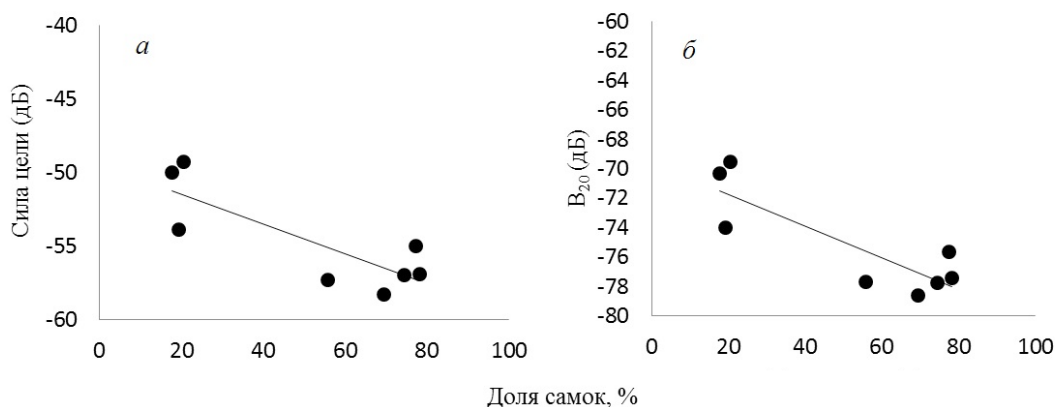


Рис. 3. Распределение улова по длине особей (а) и «силе цели» (б) большеглазой кильки: а –  $n = 206$  экз., средняя длина 10,6 см; б –  $n = 1012$  экз., среднее значение TS = 56,7 дБ.



**Рис. 4.** Зависимость «силы цели» (а) и коэффициента  $B_{20}$  (б) от доли самок большеглазой кильки в улове: а —  $\rho < 0.05$ ,  $r^2 = 0,6778$ , б —  $\rho < 0.05$ ,  $r^2 = 0,7203$ .

72,0% изменений в регистрируемых значениях TS и  $B_{20}$  соответственно ( $\rho < 0,05$ ).

$$TS = -0,1016(\%MF) - 49,47; \\ r^2 = 0,6778, n = 8. \quad (2)$$

$$B_{20} = -0,1078(\%MF) - 69,571; \\ r^2 = 0,7203, n = 8. \quad (3)$$

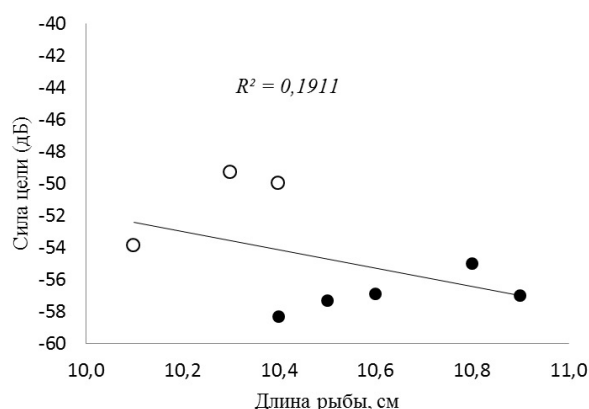
На рис. 4 видна статистически значимая зависимость средних значений TS и  $B_{20}$  от доли самок кильки в улове.

Результаты исследований показали отсутствие значимой зависимости TS от длины рыбы ( $r^2 = -0.19$ ,  $\rho > 0,05$ ) (рис. 5). Изменения TS в немалой степени, на наш взгляд, обусловлены различной долей половозрелых самок, находящихся на разных стадиях зрелости в регистрируемых скоплениях рыбы. Выполненные исследования показали, что яичник самки уменьшает объем плавательного пузыря намного больше, чем гонада самца, из-за более высокого значения гонадосоматического индекса.

На основании полученных результатов была описана следующая зависимость между TS и длиной большеглазой кильки:

$$TS = 20\log_{10} L - 75,1. \quad (4)$$

Однако (это очевидно из наших данных, представленных на рис. 4) доля зрелых самок тоже имеет важное значение для оценки и может быть учтена как:



**Рис. 5.** Зависимость «силы цели» от длины самки большеглазой кильки, доля самок: (●) — 56–78%; (○) — 18–21%.

$$TS = 20\log_{10} FL - 69,571 - \\ - 0,1078(\%MF). \quad (5)$$

## ОБСУЖДЕНИЕ

До настоящего времени исследования TS килек базировались только на результатах одиночных измерений *in situ* и *ex situ*. При анализе данных учитывали только длину рыбы. В частности, для кильки было получено следующее известное уравнение регрессии при использовании эхолота ЕК-500 с расщепленным лучом и частотой 38 кГц (Ermolchev, Bushueva, 2004):

$$TS = 20\log L - 71,6. \quad (6)$$



Приведенное уравнение регрессии (6) не сопровождалось необходимыми пояснениями, то есть не указывалось, какие именно биологические параметры рыбы учитывали: стадию зрелости, степень развития гонад, содержание самок и самцов, жирность рыбы и др. Кроме того, на TS влияют также сезон и глубина распределения рыбы, так как при вертикальных миграциях рыбы происходят изменения объема плавательного пузыря, что сказывается на TS (Ona, 1990; Fässler, Gorska, 2008).

В наших исследованиях размерный состав рыбы практически не менялся от выборки к выборке (таблица). Однако среднее значение TS значительно варьировало между выборками. В частности, при средних значениях длины рыбы 10,4 см различие в средних значениях TS составляло около 8 дБ. Выявлено, что такая вариабельность TS в немалой степени обусловлена пространственным распределением зрелых самок. Таким образом, половой диморфизм между зрелыми самками и самцами может сказаться на показателях.

Аналогичный нашему результат был получен для оценок TS сельди. В соответствии с ним средние оценки TS значительно зависят от гонадосоматического индекса особей, изменчивость которого объясняет почти 83% наблюдаемой изменчивости TS (Ona, 1990). Согласно этой работе уменьшение ~60% объема плавательного пузыря за счет изменения стадии развития гонад могло уменьшить TS рыбы до ~5 дБ. В частности, Йоргенсен (Jørgensen, 2004) показал, что зрелые самки мойвы имеют более низкое значение TS ( $B_{20}$ ), чем отнерестившиеся самки или зрелые самцы.

Новые уравнения регрессии (4, 5), сформулированные нами, сопровождаются описанием биологических характеристик большеглазой кильки (длина, вес, доля половозрелых самок, коэффициент упитанности). При этом мы также учитывали параметры, полученные из зависимости длина—масса, сезон (дату) и глубину распределения рыбы.

Приведенное уравнение  $TS = 20 \log L - 75,1$  дает значение оценки TS на

3,5 дБ ниже, чем в уравнении (6), в котором это значение было получено без учета биологических параметров исследуемых рыб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволили получить новое уравнение регрессионной зависимости TS от длины для большеглазой кильки. Данное уравнение основано на результатах измерений *in situ*, выполненных с учетом значительного объема фактических данных, при этом впервые при обработке данных учитывали биологическое состояние рыбы. Выявлено, что TS большеглазой кильки зависит не только от размера рыбы, но и от ее биологического состояния и, прежде всего, от полового диморфизма (процентного содержания половозрелых самок). Сезонная и пространственная изменчивость этого показателя может быть значимым фактором неопределенности в оценках индексов численности и биомассы, получаемых по данным акустических съемок. Этот факт должен быть учтен при разработке методологии сбора и обработки данных акустических съемок в Каспийском море. В развитие выполненных исследований авторы планируют получить набор уравнений регрессии  $TS = f(L)$  с учетом сезонной и пространственной изменчивости биологических характеристик и состава скоплений кильки, в частности при различной доле половозрелых самок в улове, что будет способствовать повышению надежности развивающихся акустических съемок кильки в Каспийском море.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ermolchev V.A., Bushueva S.A. On the results of research on the target strength of main fishes in the Caspian Sea // Proc. Rus.—Norw. Workshop on Hydroacoustics «Improvement of instrumental methods for stock assessment of marine organisms». Murmansk: PINRO Press, 2004. P. 32—41.

Fässler S., Gorska N. Investigation of the target strength-to-length relationship of

- Baltic herring (*Clupea harengus*) for use in biomass estimation // US/EU-Baltic Internat. Symp. Tallinn: Publ. IEEE, 2008. P. 1–6.
- Fazli H. Some environmental factors effects on species composition, catch and CPUE of kilkas in the Caspian Sea // IJNRMS. 2011. V. 1. P. 157–164.
- Ivanov P.I., Shiganova T.A., Muaeva E.I. et al. Invader in the Caspian Sea, *Ctenophora mnemiopsis*, and preliminary results of study of its impact on pelagic ecosystem // I Internat. Meeting «Invasion of the Caspian Sea by the comb jelly *Mnemiopsis* problems, perspectives, need for action». Baku, 2001. P. 22–26.
- Jørgensen R. The effects of behaviour on the acoustic target strength of capelin (*Mallotus villosus*) and implications for acoustic abundance estimation: PhD Thesis, Univer. Tromsø, Norway, 2004. 33 p.
- Ona E. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish // J. Mar. Biol. Ass. UK. 1990. V. 70. P. 107–127.
- Prikhod'ko B.I. Ecological features of the Caspian kilka (genus *Clupeonella*). Texas: Scripta Publ. Co., 1981. P. 27–35.
- Ricker W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bull. Fish. Res. Board Canada. 1975. V. 191. 382 p.
- Simmonds E. J., MacLennan D. N. Fisheries acoustics: theory and practice. London: Blackwell Sci., 2005. 437 p.

## ESTIMATE OF «TARGET STRENGTH» FOR BIGEYE KILKA *CLUPEONELLA GRIMMI* IN THE CASPIAN SEA

© 2016 y. P. Zare<sup>1</sup>, S.V. Shibaev<sup>1</sup>, S.M. Kasatkina<sup>2</sup>, H. Fazli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, 236022

<sup>2</sup>Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, 236022

<sup>3</sup>Caspian Sea Ecology Research Center, Sari, Iran, 961

BigeYE kilka *Clupeonella grimmi* is commercially and ecologically important fish species in Iranian waters of Caspian Sea. Abundance indices based on the data of acoustic surveys are the most important information to assess stock status and spatial distribution of this fish. The accuracy of the acoustical estimates depends on the knowledge of fish «target strength» (TS), which has so far been little-studied for Bigeye kilka. The article presents in situ data on TS from Bigeye kilka, collected using a calibrated 38 kHz scientific split-beam echosounder system. Deriving TS—length relationships from in situ measurements regardless of other variables is complicated because of the very large variability in TS from individual biological parameters of fish of similar length. Understanding the relationship between fish biological parameters and target strength potentially improves the accuracy of acoustic assessments. In present study, the effects of individual biological factors (length, weight, maturity stage, and condition factor) on target strength were examined. The results showed that the percentage of mature females was significantly negatively related to TS. Our  $B_{20} = -75.1$  dB value for bigeye kilka was 3.5 dB lower than that reported in previous studies for this species.

**Keywords:** bigeye kilka *Clupeonella grimmi*, acoustic surveys, «target strength», Caspian Sea, Iran.