

14. Widder E.A., Case J.F., Bernstein S.A., MacIntyre S., Lowenstine M.R., Bowlby M.R., Cook D.P. A new large volume bioluminescence bathyphotometer with defined turbulence excitation. *Deep-Sea Res. Part I*, 1993, vol. 40, no. 3, pp. 607-627.
15. Latz M.I., Juhl A.R., Ahmed A.M., Elghobashi S.E., Rohr J. Hydrodynamic stimulation of dinoflagellate bioluminescence: a computational and experimental study. *Journal of Experimental Biology*, 2004, vol. 207, pp. 1941-1951.
16. Gitelson I.I., Levin L.A. Bioluminescence in Oceanology. *J. Bioluminescence and Chemiluminescence*, 1989, vol. 4, pp. 555-562.
17. Case J.F., Widder E.A., Bernstein S., Ferrer K., Young D., Latz M.I., Geiger M., Lapota D. Assessment of marine bioluminescence. *Naval Research Reviews*, 1993, vol. XLV, no. 2, pp. 31-41.
18. Herren C.M., Haddock S.H.D., Johnson C., Orrico C.M., Moline M.A., Case J.F. A multi-platform bathyphotometer for fine-scale, coastal bioluminescence research. *Limnol Oceanogr Methods*, 2005, vol. 3, pp. 247-262.
19. Aiken J., Kelly J. A solid state sensor for mapping and profiling stimulated bioluminescence in the marine environment. *Cont. Shelf Res*, 1984, vol. 3, no. 4, pp. 455-464.
20. Losee J.D., Lapota D., Lieberman S.H. Bioluminescence: A new tool for oceanography. in Zirion A. *Mapping Strategies in Chemical Oceanography*. AdvChemSer, 209, Washington D.C., American Chemical Society, 1985.
21. Swift E., Lessard E.J., Biggley W.H. Organisms associated with stimulated epipelagic bioluminescence in the Sargasso Sea and the Gulf Stream. *J Plank Res*, 1985, vol. 7, pp. 831-848.
22. Buskey E.J. Epipelagic planktonic bioluminescence in the marginal ice zone of the Greenland Sea. *Mar Biol*, 1992, vol. 113, pp. 689-698.
23. Neilson D.J., Latz M.I., Case J.F. Temporal variability in the vertical structure of bioluminescence in the North Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res. C: Oceans Atmos*, 1995, vol. 100, no. C4, pp. 6591-6603.
24. Swift E., Sullivan J.M., Batchelder H.P., van Keuren J., Vaillancourt R.D., Bidgare R.R. Bioluminescent organisms and bioluminescence measurements in the North Atlantic Ocean near latitude 59.5 ° N, longitude 21 W. *J. Geophys Res*, 1995, vol. 100, pp. 6527-6547.
25. Geistdoerfer P., Vincendeau A.-M. A new bathyphotometer for bioluminescence measurements in the Armorican continental shelf (Northeastern Atlantic). *Oceanologica Acta*, 1999, vol. 22, pp. 137-151.
26. Kim G., Lee Y.-W., Joung D.-J., Kim K.-R., Kim K. Real-time monitoring of nutrient concentrations and red-tide outbreaks in the southern sea of Korea. *Geophys Res Lett*, 2006, vol. 33.
27. Orrico C.M., Moline M.A., Robbins I., Zelenke B., Barnard A.H., Strubhar W., Koegler J., Moore C. *A new tool for monitoring ecosystem dynamics incoastal environments: Long-term use and servicing requirements of the commercial Underwater Bioluminescence Assessment Tool (U-BAT)*. Oceans 2009. MTS/ IEEE , 1-7, 2010.

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИТОХРОМНОЙ ЦЕПИ МИТОХОНДРИЙ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ МОРСКИХ РЫБ НА ПРОТЯЖЕНИИ ГОДОВОГО ЦИКЛА

Солдатов А.А.<sup>1,2</sup>, Парфенова И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»

просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ

e-mail: alekssoldatov@yandex.ru

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ

**Аннотация.** Исследовали характер организации цитохромной цепи митохондрий скелетных мышц у трех видов черноморских рыб: кефали-сингиля (*Liza aurata* Risso, 1810), камбалы-гlossы (*Platichthys flesus luscus* Linnaeus, 1758) и бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) на протяжении годового цикла. У кефали и камбалы отмечен рост суммарного содержания цитохромов в мышцах в зимний период времени. Наибольшие изменения отмечали среди цитохромов группы  $aa_3$ . Стехиометрия дыхательной цепи митохондрий приближалась к нескомпенсированному типу. Наиболее лабильным оказалось отношение  $b/aa_3$ . В белых мышцах оно становилось меньше единицы, а в красных мышцах претерпевало выраженное снижение. У кефалей подобную организацию дыхательной цепи отмечали и в летний период времени. Полученные результаты отражают возникновение дефицита кислорода в скелетных мышцах обоих видов рыб. У кругляка дыхательная цепь митохондрий изначально имела нескомпенсированный тип организации. Индекс  $b/aa_3$  был ниже единицы в обоих мышечных группах. Каких-либо изменений в организации цитохромной цепи в скелетных мышцах данного вида на протяжении годового цикла не наблюдали.

**Ключевые слова:** цитохромы, стехиометрия цитохромной цепи, скелетные мышцы, годовой цикл, морские рыбы.

**PECULIARITIES OF ORGANIZATION OF MITOCHONDRIA CYTOCHROME CHAIN OF SKELETAL MUSCLES IN MARINE FISH DURING ANNUAL CYCLE**Soldatov A.A.<sup>1,2</sup>, Parfyonova I.A.<sup>2</sup><sup>1</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Researches, Russian Academy of Sciences

2 Nakhimov Ave., Sevastopol, 299011, Russia

e-mail: alekssoldatov@yandex.ru

<sup>2</sup>Sevastopol State University

33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia

**Abstract.** The characteristics of the organization of the cytochrome chain of mitochondria of skeletal muscles were studied in three species of the Black Sea fish: the mullet (*Liza aurata* Risso, 1810), flounder (*Platichthys flesus luscus* Linnaeus, 1758) and goby (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Cycle. In the mullet and flounder, the total content of cytochromes in the muscles increased in the winter period. The greatest changes were found among the cytochromes of the aa3 group. The stoichiometry of the mitochondrial respiratory chain corresponded with an uncompensated type. The ratio of b / aa3 was the most labile one. In white muscles this ratio became lower than 1 and in red muscles it decreased significantly. In the mullet a similar organization of the respiratory chain was observed during the summer period. The results obtained reflect the occurrence of oxygen deficiency in the skeletal muscles of both species of fish. In the goby the mitochondrial respiratory chain initially had an uncompensated type of organization. The b / aa3 index was below 1 in both muscle groups. No changes in the organization of the cytochrome chain in skeletal muscles of this species were observed during the annual cycle.

**Key words:** cytochromes, stoichiometry of the cytochrome chain, skeletal muscle, annual cycle, marine fish.

**Введение.**

Годовой цикл у рыб распадается на ряд периодов, которые отражают определенные, устойчивые во времени, состояния животных: нерест, нагул, зимовка, миграционное поведение [1]. Для каждого из них характерна особая организация метаболических процессов. Закономерные изменения отмечены на протяжении годового цикла у рыб со стороны углеводного, белкового и липидного обмена [1,2]. Определенная цикличность зарегистрирована и в состоянии ряда физиологических систем: респираторной, пищеварительной, крови [2-4]. Особое внимание уделяется процессам энергетического обмена и возникновению ряда критических (гипоксических) состояний. Показана моноцикличность в функционировании кровяной ткани, которая приводит к периодическому старению циркулирующей эритроцитарной массы, росту концентрации метгемоглобина и сопровождается понижением кислородной емкости крови [5,6].

Дыхательная цепь митохондрий у рыб принимает активное участие в компенсации гипоксических состояний. Отмечены адаптивные перестройки на уровне данной системы к функционированию в условиях дефицита кислорода: повышение содержания цитохромов терминальной группы – aa<sub>3</sub> [7-9]. В этой связи представляет интерес изучение организации данного молекулярного комплекса при возникновении естественных гипоксических состояний у рыб на протяжении годового цикла. Этим аспектам проблемы и посвящено настоящее исследование.

**Материал и методы.**

Материал для проведения данной работы собирался в районе Керченского пролива, Севастопольской и Казачьей бухт (г. Севастополь). Объектами исследования являлись три вида черноморских рыб: кефали-сингиля (*Liza aurata* Risso, 1810), камбалы-глоссы (*Platichthys flesus luscus* Linnaeus, 1758) и бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814). В работе использовали взрослых половозрелых особей. Рыбу отлавливали на протяжении годового цикла и содержали в аквариумах на протоке воды с сохранением естественного режима освещения. Объем аквариумов составлял 200-1500 л. Плотность посадки – 50-80 л на одну особь. В течение опыта особей кормили фаршем из малоценных видов рыб. Суточный пищевой рацион составлял 6-7% от массы тела. В экспериментах использовали активно питающихся, подвижных особей.

За 60-70 минут до отбора проб рыб наркотизировали. В качестве анестезирующего препарата применяли уретан [10]. Его растворяли в воде аквариума, где находились особи. Величины эффективных доз препарата определяли с учетом температуры, солености, концентрации кислорода в воде, экологических и систематических особенностей рыб.

Образцы мышечной ткани для биохимических и гистологических исследований получали из большой белой боковой (*m. lateralis magnus*) и поверхностной красной боковой (*m. lateralis superficialis*) мышц расположенных позади спинного плавника. У донных рыб (кругляк), в связи со слабым развитием красной мускулатуры, пробы ее отбирали в районе хвостового стебля. Кусочки красных и белых мышц, полученных для биохимических исследований, взвешивали на торсионных весах и замораживали в жидком азоте. После завершения процедуры отбора проб крови и тканей рыбу взвешивали, определяли длину тела, пол и стадию зрелости гонад.

Количественное определение содержания цитохромов (aa<sub>3</sub>, b, c, c<sub>1</sub>) проводили по методу Чанса в модификации Евдотиенко, Моховой [11]. Измерения выполняли на гомогенатах тканей, так как при выделении митохондрий происходит частичная потеря цитохромов группы c [12], что важно при расчете стехиометрических отношений. Гомогенаты готовили на среде содержащей 120 mM KCl и 20 mM трис-HCl буфера (pH 7,4). Измерения выполняли на двухлучевом спектрофотометре ДСФ-2.

Статистическая обработка и графическое оформление полученных результатов проведены с применением стандартного пакета Grapher (версия 7). Результаты представлены в виде  $\bar{x} \pm S_x$ . Достоверность различий оценивали при помощи t-критерия Стьюдента. О нормальности распределения выборочных совокупностей судили по значениям критерия Пирсона.

#### Результаты и обсуждение.

*Кефаль-сингиль.* Суммарное содержание цитохромов в мышечной ткани данного вида достигало максимальных значений в зимний период (см. рис. 1). В красных мышцах оно составляло  $116,7 \pm 5,3$  нмоль  $g^{-1}$ , а в белых –  $9,88 \pm 0,41$  нмоль  $g^{-1}$ . В сравнении с осенним периодом различия находились на уровне 74,2 и 57,1 % ( $p < 0,001$ ). В весенне-осенний период изменения не были статистически выражены.

В зимний период перестройке подвергалась практически вся дыхательная цепочка митохондрий скелетных мышц. Наиболее значительные изменения были отмечены среди цитохромов группы  $aa_3$ . Содержание их в красных мышцах повышалось в 2,2 раза, а в белых – в 2,0 раза ( $p < 0,001$ ). Рост значений других групп цитохромов –  $c$ ,  $c_1$ ,  $b$ , находился на уровне 30-70 % ( $p < 0,05-0,001$ ). Необходимо отметить, что в весенне-осенний периоды значительных изменений содержания цитохромов:  $aa_3$ ,  $c$  и  $c_1$ , в мышцах не наблюдали. В то же время сезонная динамика цитохрома  $b$  была иной. Содержание его в летний период достоверно снижалось. В сравнении с осенней группой рыб уменьшение составило 20,8 % ( $p < 0,01$ ) (красные мышцы).

Стехиометрические индексы –  $b/aa_3$ ,  $c/aa_3$ ,  $c_1/aa_3$  и  $c_1+c/aa_3$ , представлены в таблице 1. Как видно, в течение года они претерпевали ряд характерных изменений. Минимальные значения индексы имели зимой и летом, а максимальные – в весенний и осенний периоды. Во всех случаях различия были статистически выражены. Например, для отношения  $b/aa_3$  они составляли 75,0 % ( $p < 0,001$ ) (красные мышцы) и 75,3 % ( $p < 0,01$ ) (белые мышцы).

*Бычок-кругляк.* В отличие от кефали, у бычка каких-либо существенных изменений в дыхательной цепи митохондрий не наблюдали. Суммарное содержание цитохромов, содержание их отдельных групп, стехиометрические индексы не претерпевали статистически значимых изменений на протяжении годового цикла (см. рис. 1, табл. 1).

*Камбала-глосса.* У камбалы в течение годового цикла отмечали равномерное повышение содержания цитохромов в красных мышцах к зиме ( $20,4 \pm 0,7$  нмоль  $g^{-1}$ ) и столь же равномерное снижение к лету ( $16,3 \pm 1,0$  нмоль  $g^{-1}$ ) (см. рис. 1). Различия составляли 20,1% ( $p < 0,01$ ). Данные изменения были связаны в основном с увеличением содержания в мышечной ткани цитохромов группы  $aa_3$  в зимний период на 33,3% ( $p < 0,001$ ). Участие в этом процессе цитохромов остальных групп ( $c$ ,  $c_1$ ,  $b$ ) было практически не выражено. Изменение содержания в красных мышцах цитохрома  $aa_3$  сказывалось на сезонной динамике стехиометрических индексов (см. табл. 1). В зимний период значения их были минимальны, а в летний – максимальны. При чем достоверные различия были обнаружены только для индекса  $b/aa_3$  – 50,9 % ( $p < 0,001$ ). В остальных случаях уровень значимости ( $p$ ) был больше 0,05.

В белых мышцах камбалы суммарное содержание цитохромов на протяжении года практически не изменялось ( $p > 0,05$ ), оставаясь на уровне 1,60-1,72 нмоль  $g^{-1}$ . Отсутствие изменений определялось разнонаправленностью сезонных динамик отдельных групп цитохромов. Так, содержание цитохрома  $aa_3$  в белых мышцах камбалы к зиме повышалось на 25,3 % ( $p < 0,01$ ), тогда как уровень цитохрома  $b$ , напротив, снижался на 26,3 % ( $p < 0,01$ ). Подобный характер изменения содержания цитохромов групп  $aa_3$  и  $b$  в белых мышцах определял снижение значений индекса  $b/aa_3$  в зимний период на 67,3 % ( $p < 0,001$ ). В отличие от  $aa_3$  и  $b$ , уровень цитохромов  $c$  и  $c_1$  в белых мышцах камбалы на протяжении года изменялся мало. Отсутствовали и изменения соответствующих индексов:  $b/aa_3$ ,  $c/aa_3$ ,  $c_1/aa_3$  и  $c_1+c/aa_3$ .

Из представленных результатов видно, что у двух из трех видов морских рыб дыхательная цепочка митохондрий претерпевала количественные и качественные перестройки на протяжении годового цикла. У кефали и камбалы происходило увеличение суммарного содержания цитохромов в зимний период. Наибольшие изменения отмечали среди цитохромов группы  $aa_3$ . Подобная реакция была обнаружена и у тилапий при адаптации к низким температурам [13]. Однако в отличие от наших экспериментов, у них происходило значительное увеличение содержания цитохрома  $b$ . У золотых рыбок при гипотермии также активизировались практически все звенья митохондриальной системы транспорта электронов, но повышалось содержание только цитохрома  $c_1$  [7].

В наших опытах было показано, что стехиометрия дыхательной цепочки митохондрий скелетных мышц в зимний период приближалась к нескомпенсированному типу. Наиболее лабильным было отношение  $b/aa_3$ . В белых мышцах оно становилось меньше единицы, а в красных мышцах претерпевало выраженное снижение. Нескомпенсированный тип стехиометрии характерен для тканей, испытывающих недостаточный приток кислорода [7,14,15]. Возникновение подобных ситуаций в области низких температур было рассмотрено нами ранее [16]. Отсутствие изменений в скелетных мышцах бычка-кругляка, вероятно, обусловлено тем, что организация дыхательной цепи митохондрий у данного вида на протяжении всего годового цикла носила нескомпенсированный характер, то есть она изначально была адаптирована к функционированию в условиях гипоксии. Это характерно для донных рыб, которые часто сталкиваются с дефицитом кислорода в придонных слоях воды [8].

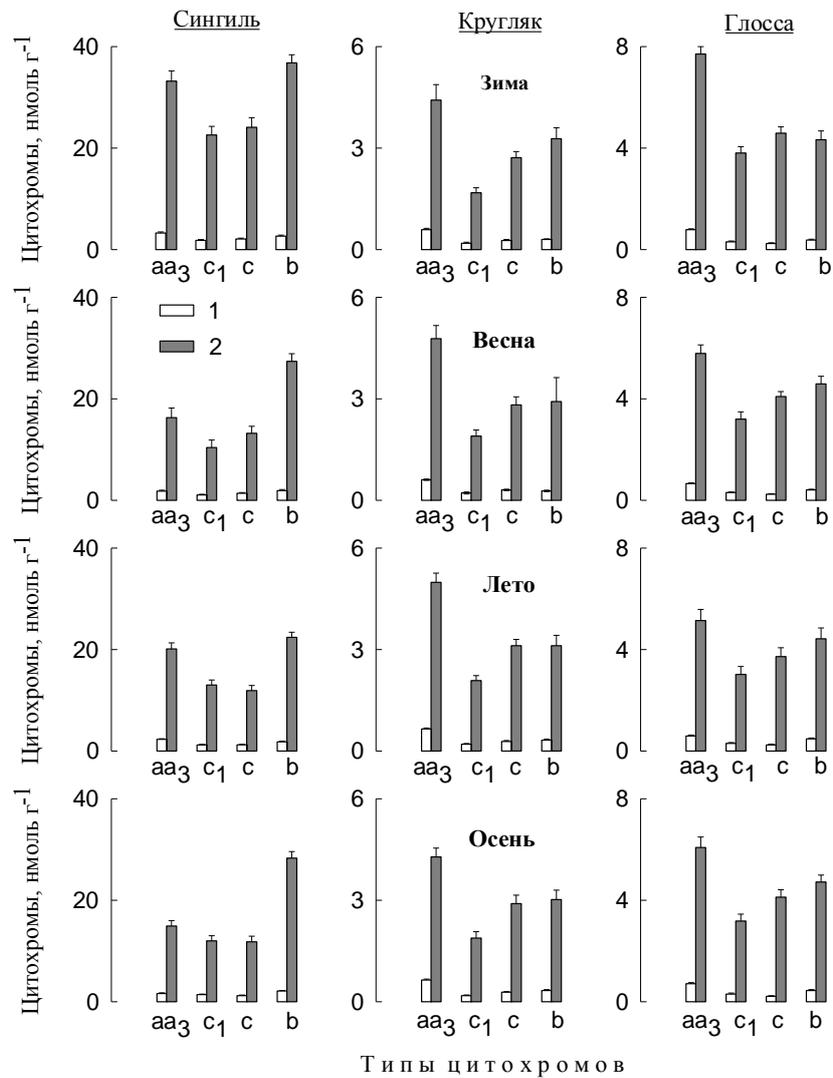


Рисунок 1 – Содержание цитохромов в скелетных мышцах морских рыб в течение годового цикла (1 – белые мышцы, 2 – красные мышцы)

Таблица 1 – Стехиометрические отношения цитохромов в дыхательной цепи митохондрий скелетных мышц морских рыб в течение годового цикла

Виды рыб (сезон)	n	<i>b/aa3</i>		<i>c/aa3</i>		<i>c1/aa3</i>		<i>c+c1/aa3</i>	
		г	w	г	w	г	w	г	w
<b>Сингиль</b>									
зима	6	1,12±0,07	0,82±0,05	0,74±0,07	0,65±0,08	0,69±0,07	0,57±0,08	1,43±0,14	1,11±0,06
весна	6	1,79±0,21	1,09±0,14	0,85±0,10	0,82±0,14	0,67±0,10	0,61±0,07	1,51±0,14	1,43±0,16
лето	8	1,14±0,08	0,81±0,10	0,62±0,08	0,54±0,05	0,68±0,08	0,53±0,05	1,30±0,16	1,07±0,08
осень	1	1,96±0,10	1,42±0,15	1,13±0,23	0,81±0,12	0,87±0,12	0,99±0,10	1,73±0,23	1,74±0,23
	0								
<b>Кругляк</b>									
зима	5	0,75±0,05	0,53±0,05	0,64±0,08	0,47±0,06	0,40±0,05	0,33±0,05	1,03±0,11	0,80±0,11
весна	6	0,63±0,06	0,46±0,05	0,63±0,10	0,51±0,05	0,43±0,08	0,37±0,05	1,06±0,18	0,88±0,09
лето	7	0,62±0,05	0,49±0,03	0,64±0,05	0,43±0,03	0,43±0,04	0,31±0,03	1,06±0,09	0,74±0,05
осень	6	0,71±0,05	0,52±0,05	0,69±0,08	0,44±0,03	0,44±0,04	0,29±0,04	1,14±0,12	0,73±0,05
<b>Глосса</b>									
зима	8	0,57±0,06	0,49±0,04	0,60±0,04	0,31±0,04	0,49±0,03	0,40±0,04	1,10±0,05	0,71±0,07
весна	7	0,81±0,06	0,64±0,07	0,72±0,05	0,36±0,03	0,58±0,08	0,47±0,04	1,30±0,13	0,84±0,04
лето	5	0,86±0,02	0,82±0,05	0,74±0,08	0,42±0,06	0,60±0,06	0,53±0,08	1,34±0,08	0,95±0,13
осень	6	0,81±0,09	0,62±0,03	0,70±0,08	0,30±0,04	0,54±0,06	0,43±0,07	1,24±0,13	0,72±0,08

Примечание: n – число особей; *aa3*, *b*, *c*, *c1* – цитохромы; г, w – красные и белые мышцы

Таким образом, в течение годового цикла в скелетных мышцах оксифильных видов рыб (кефаль, камбала) периодически возникают гипоксические состояния, которые приурочены к зимнему периоду времени. Об этом свидетельствует значительный рост содержания цитохромов и перестройка дыхательной цепи митохондрий на

тип организации близкий к нескомпесированному. Наиболее выраженное увеличение содержания отмечено со стороны терминальной группы цитохромов – *aa3*, что приводит к снижению значений индекса *b/aa3*. У толерантного к гипоксии бычка-кругляка дыхательная цепь митохондрий скелетных мышц изначально имеет нескомпенсированный тип организации и не претерпевает каких-либо изменений на протяжении годового цикла.

**Список литературы / References:**

1. Shulman G.E., Love R.M. The Biochemical Ecology and Marine Fishes. *Adv. Mar. Biol.*, 1999, vol. 36, p. 347.
2. Lloret J., Shulman G.E., Love R.M. *Condition and Health Indicators of Exploited Marine Fishes*. Wiley Blackwell, 2014, 247 p.
3. Кляшторин Л.Б. *Водное дыхание и кислородные потребности рыб*. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982, 168 с. [Klyashtorin L.B. *Water breathing and oxygen needs of fish*. Moscow: Lyogkaya i pischevaya promishlennost, 1982, 168 p. (In Russ.)]
4. Soldatov A.A. Peculiarities of organization and functioning of the fish red blood system (review). *J. Evolutionary Biochem. Physiol.* (Springer), 2005, vol. 41, no. 3, pp. 272-281.
5. Maslova M.N., Soldatov A.A., Tavrovskaya T.V. Seasonal dynamics in the state of the red blood system of several Black sea fish. *J. Evolutionary Biochem. Physiol.* (Springer), 1988, vol. 24, no. 4, pp. 398-402.
6. Soldatov A.A., Maslova M.N. Concentration of methemoglobin in blood of fish in the course of the annual cycle. *J. Evolutionary Biochem. Physiol.* (Springer), 1989, vol. 25, no. 4, pp. 317-321.
7. Савина М.В. *Механизмы адаптации тканевого дыхания в эволюции позвоночных*. С.-Петербург: Наука, 1992, 200 с. [Savina M.V. *Adaptation mechanisms of tissue respiration in the evolution of vertebrates*. St.-Petersburg: Nauka, 1992, 200 p. (In Russ.)]
8. Soldatov A.A. Cytochrome System and Oxygen Tension in Muscle Tissue of Salt-Water Fish with Different Natural Activity. *J. Evolutionary Biochem. Physiol.* (Springer), 1996, vol. 32, no. 2, pp. 112-115.
9. Soldatov A.A., Savina M.V. Effect of hypoxia on the content and stoichiometry of cytochromes in muscle of the gray mullet *Liza aurata*. *J. Evolutionary Biochem. Physiol.* (Springer), 2008, vol. 44, no. 5, pp. 599-604.
10. Soldatov A.A. Physiological Aspects of Effects of Urethane Anesthesia on the Organism of Marine Fishes. *Hydrobiol. J.* (Begell House), 2005, vol. 41, no. 1, pp. 113-126.
11. Евдотиенко Ю.В., Мохова Е.Н. *Механизмы дыхания, фотосинтеза и фиксации азота*. М.: Наука, 1967, 154 с. [Evdotienko Yu.V., Mohova E.N. *Respiration mechanisms, photosynthesis and nitrogen fixation*. Moscow: Nauka, 1967, 154 p. (In Russ.)]
12. Van Handel P.J., Sandell W.R., Mole P.A. Effects of exogenous cytochrome *c* on respiratory capacity of head and skeletal muscle. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 1977, vol. 27, pp. 1213-1219.
13. Демин В.И., Андросова И.М., Озернюк Н.Д. Адаптации энергетического обмена у рыб: влияние скорости плавания и температуры на цитохромную систему скелетных мышц. *Докл. АН СССР*, 1989, т. 308, № 1, с. 241-246. [Demin V.I., Androsova I.M., Ozernyuk N.D. Adaptations of energy metabolism in fish: the effect of swimming speed and temperature on the cytochrome system of skeletal muscles. *Dokl. Academy of USSR Science*. 1989, vol. 308, no. 1, pp. 241-246. (In Russ.)]
14. Johnston I.A., Bernard L.M. Ultrastructure and metabolism of skeletal muscle fibres in the tench: effect of long-term acclimation to hypoxia. *Cell Tiss. Res.*, 1982, vol. 227, pp. 179-199.
15. Wodtke E. Temperature adaptation of biological membranes. Compensation of the molar activity of cytochrome C oxidase in the mitochondrial energy-transducing membrane during thermal acclimation of the carp (*Cyprinus carpio* L.). *Biochim. biophys. acta.*, 1981, vol. 640, no. 3, pp. 710-720.
16. Солдатов А.А., Парфенова И.А. Напряжение кислорода в крови, скелетных мышцах и особенности тканевого метаболизма кефали-сингиля в условиях экспериментальной гипотермии. *Пробл. криобиологии*, 2009, т. 19, № 3, с. 290-300. [Soldatov A.A., Parfyonova I.A. Oxygen tension in blood, skeletal muscles and tissue metabolism peculiarities of golden mullet in experimental hypothermia. *Cryobiology problems*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 290-300. (In Russ.)]