

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

# ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



ИНБЮМ

38  

---

1991

9. Droop M. R. The nutrient status of algae cells in continuous culture // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. — 1974. — 55, N 2. — P. 541—555.  
10. Dugdale R. C. Nutrient limitation in the sea: Dynamics, identification and significance // Limnol. Oceanogr. — 1967. — 12. — P. 685—695.

Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского АН УССР,  
Севастополь

Получено 02.10.89

V. N. EGOROV

**OPTIMIZATION OF THE CONTENT OF BIOGENIC ELEMENTS  
IN THE MEDIUM OF CULTIVATION OF MARINE UNICELLULAR ALGAE  
WITH THE USE OF KINETIC MODEL OF THEIR MINERAL METABOLISM**

**Summary**

The paper deals with the decision of the problem of optimization biogenic elements content in the medium of cultivation of marine unicellular algae with regard for kinetic regularities of algae removal of elements limiting the intensity of production processes.

УДК 591.85:597.585.1:551.463.6

А. А. СОЛДАТОВ

**КИСЛОРОДСВЯЗУЮЩАЯ  
ФУНКЦИЯ КРОВИ БЫЧКА-МАРТОВИКА  
GOBIUS BATRACHOCEPHALUS PALLAS  
И ФАКТОРЫ ЕЕ РЕГУЛЯЦИИ ПРИ АДАПТАЦИИ  
К ТЕМПЕРАТУРНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ**

Длительное пребывание особей бычка-мартовика в новых температурных условиях среды приводит к восстановлению ранее измененного сродства крови к кислороду. Этот процесс связан с перестройкой гемоглобиновой системы и протекает тем эффективнее, чем меньше новые температурные условия отличаются от исходных. Снижение адаптивных возможностей данного вида связано с ограничением функциональной активности кровяной ткани.

Участие кислородтранспортных систем в адаптации организма рыб к условиям водной среды рассматривается в работах многих авторов [10—12]. Большое внимание уделяется дыхательной функции крови и факторам ее регуляции [8, 9]. Собственными исследованиями установлено, что при длительном пребывании рыб в новых температурных условиях среды возможно частичное восстановление ранее измененного сродства крови к кислороду [4]. Этот процесс связан с количественной перестройкой гемоглобиновой системы и протекает на уровне кровяной ткани [5]. Однако эти результаты были получены для ограниченного температурного интервала. В данной статье рассматривается роль эритропоэза, фракционного состава гемоглобина и ряда факторов внутриэритроцитарной среды в регуляции кислородсвязывающей функции крови бычка-мартовика в условиях широкого диапазона экспериментальных температур.

**Материал и методы.** Особей бычка-мартовика (*Gobius batrachecephalus* P.) отлавливали в апреле — мае в Керченском проливе при температуре воды 9—12 °С. Рыбу выпускали в аквариумы, имеющие централизованные системы проточности, воздушной аэрации и терморегуляции. Плотность посадки составляла 50—80 л на одну особь. Температура воды в аквариумах поддерживалась на уровне  $10,0 \pm 0,5$  °С. Период адаптации к условиям искусственного содержания длился 15 сут. Эту группу особей рассматривали как контрольную. Затем температуру воды повышали со скоростью 0,05 °С/ч от 10 до 25 °С, оставляя в про-

© А. А. Солдатов, 1991

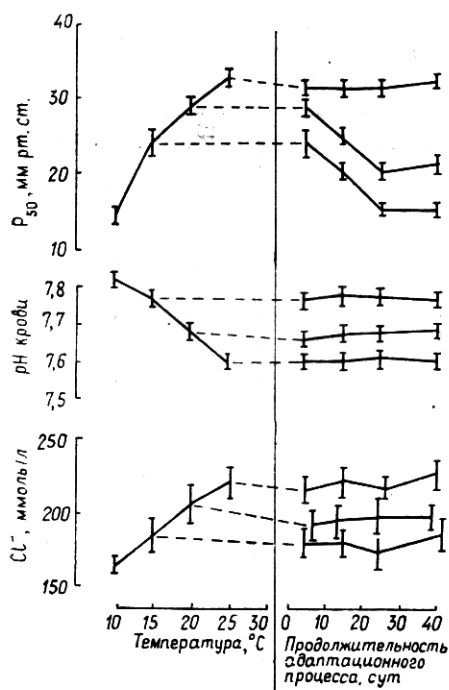
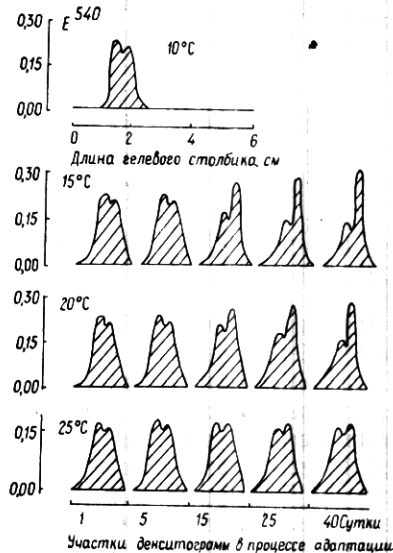


Рис. 1. Сродство крови к кислороду, концентрация  $Cl^-$  в эритроцитах и pH крови у бычка-мартовика при адаптации к новым температурным условиям среды

Рис. 2. Электрофоретический профиль гемоглобина бычка-мартовика при адаптации к новым температурным условиям среды



цессе повышения группы особей при  $15,0 \pm 0,5$ ,  $20,0 \pm 0,5$  и  $25,0 \pm 0,5$  °C. После этого изучали процесс адаптации к указанным температурам в течение 40 сут. Отбор проб крови производили на 1, 5, 15, 25 и 40-е сут. содержания. Эксперимент выполнен в парном варианте, т. е. на каждую опытную группу особей приходилась своя контрольная. В течение опыта особей бычка-мартовика кормили фаршем из малоценных видов рыб. Суточный пищевой рацион составлял 6—7% массы тела.

Пробы крови отбирали пункцией сердца в шприц под слой вазелинового масла. В качестве антикоагулянта применяли гепарин. Полученные порции крови термостатировали в ультратермостате при температуре, равной температуре воды в аквариуме. Сродство крови к кислороду оценивали по методу В. А. Таккера в модификации Л. Б. Кляшторина и Р. Ф. Саликзянова [2]. В эритроцитах определяли концентрацию АТФ неферментативным методом И. Ф. Сейца [7] и  $Cl^-$ -спектрофотометрическим методом с использованием в качестве реагента хлоронитроокислой ртути. В последнем случае применяли стандартный набор реактивов фирмы «Ляхеме» (ЧСФР); pH крови оценивали с помощью микрометода на pH-метре марки pH-232. Фракционирование гемоглобина производили при помощи диск-электрофореза в полиакриламидном геле [6]. Денситометрирование полученных электрофореграмм осуществляли на денситометре «Карл Цейсс». Об интенсивности эритропоэза судили по количеству полихроматофильных нормобластов в 1 мкл крови, которое рассчитывали на основании значений числа эритроцитов в 1 мкл крови и процентного содержания данных форменных элементов эритроидного ряда. Количество эритроцитов в 1 мкл крови подсчитывали в камере Горяева [1]. Процентное содержание полихроматофильных нормобластов определяли на мазках крови, окрашиваемых по комбинированному методу Паппенгейма [1]. Цифровой материал обработан статистически с использованием критерия Стьюдента [3].

**Таблица 1. Концентрация АТФ в эритроцитах бычка-мартовика при адаптации к новым температурным условиям среды**

| Температура, °С | Концентрация АТФ в эритроцитах, мкмоль/г Нв ( $\bar{x} \pm S \bar{x}$ ) |                   |                   |                   |                   |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 | 1 сут                                                                   | 5 сут             | 15 сут            | 25 сут            | 40 сут            |
| 10 контрольная  | 8,29±0,30<br>(17)                                                       | 8,13±0,25<br>(18) | 8,10±0,28<br>(13) | 7,75±0,27<br>(13) | 7,74±0,32<br>(13) |
| 15              | 8,70±0,44<br>(9)                                                        | 8,33±0,47<br>(9)  | 8,20±0,48<br>(10) | 8,30±0,41<br>(10) | 8,17±0,55<br>(9)  |
| 20              | 8,18±0,51<br>(10)                                                       | 8,14±0,53<br>(10) | 8,45±0,45<br>(9)  | 8,09±0,47<br>(10) | 8,46±0,50<br>(9)  |
| 25              | 8,44±0,49<br>(9)                                                        | 8,15±0,48<br>(10) | 8,50±0,61<br>(9)  | 8,03±0,46<br>(10) | 8,34±0,53<br>(10) |

*Примечание.* В скобках указано число особей.

**Результаты и их обсуждение.** При температуре воды 10 °С показатель  $P_{50}$  был равен  $14,6 \pm 1,1$  мм рт. ст. Повышение температуры до 25 °С приводило к уменьшению сродства крови к кислороду, о чем свидетельствовало увеличение  $P_{50}$  на 17,8 мм рт. ст. ( $P < 0,001$ ) (рис. 1). Одновременно отмечали уменьшение рН крови на 0,22 единицы ( $P < 0,001$ ) и увеличение концентрации  $Cl^-$  в эритроцитах на 56,3 ммоль/л ( $P < 0,001$ ). Концентрация АТФ в клетках красной крови при этом не изменялась (табл. 1). Гемоглобин бычка-мартовика был разделен на два компонента ( $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ ), относительная электрофоретическая подвижность которых составляла 0,217 и 0,283 соответственно. Повышение температуры воды не отражалось на числе компонентов, их электрофоретической подвижности и содержании белка в отдельных фракциях (рис. 2).

Содержание особей бычка-мартовика при температуре воды 15 и 20 °С в течение 40 сут приводило соответственно к полному и частичному восстановлению ранее измененного сродства крови к кислороду. Восстановление происходило на фоне количественных перестроек гемоглобиновой системы. Содержание белка в  $\Phi_2$  повышалось, а в  $\Phi_1$  снижалось. Изменения при 15 °С были более выражены. Отношение  $\Phi_2 : \Phi_1$  составило 2,232, тогда как при 20 °С — 1,795. Остальные показатели — рН крови, концентрация АТФ и  $Cl^-$  в эритроцитах — не претерпели статистически значимых изменений. При 25 °С восстановления сродства крови к кислороду не наблюдали. Соотношение компонентов в гемоглобиновой системе оставалось на прежнем уровне.

Ранее установлено, что  $\Phi_2$  обладает более высоким сродством к кислороду, чем  $\Phi_1$  [4]. Поэтому отмеченная выше перестройка гемоглобиновой системы при 15 и 20 °С должна была привести к увеличению сродства крови к кислороду в целом. Это в действительности и наблюдали. Эксперименты с эритропоэтинактивной сывороткой и избирательным гемолизом позволили говорить о том, что перестройка гемоглобиновой системы у бычка-мартовика происходит на уровне кроветворной ткани [5].

Анализ интенсивности эритропоэза показал, что количество полихроматофильных нормобластов в 1 мкл крови на 5 сут содержания при температурах 15; 20 и 25 °С было соответственно на 38,2% ( $P < 0,01$ ), 42,2% ( $P < 0,001$ ) и 66,7% ( $P < 0,001$ ) выше, чем при 10 °С (табл. 2). Однако продолжительность увеличения активности кроветворной ткани была неодинакова. При 15 °С она составила 30,0 сут, при 20 °С — 25,0 сут, а при 25 °С — 16,5 сут. Среднесуточная продукция эритроцитов при данных температурах в течение указанного времени была равна соответственно  $0,122 \cdot 10^6$ ;  $0,124 \cdot 10^6$  и  $0,136 \cdot 10^6$  клеток на 1 мкл крови. Умножив значения среднесуточной продукции на продолжительность усиления активности кроветворной ткани, определили общую продукцию эритроцитов. При температуре 15 °С она составила  $3,66 \cdot 10^6$ , при 20 °С —  $3,10 \cdot 10^6$ , а при 25 °С —  $2,24 \cdot 10^6$  клеток на 1 мкл крови. Это

**Таблица 2. Содержание полихроматофильных нормобластов (ПН) в 1 мкл крови бычка-мартовика при адаптации к новым температурным условиям среды**

| Температура, °С | Содержание ПН в 1 мкл крови, число клеток $\times 10^6$ |                           |                           |                           |                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | 1 сут                                                   | 5 сут                     | 15 сут                    | 25 сут                    | 40 сут                    |
| 10 контрольная  | 0,105 $\pm$ 0,007<br>(17)                               | 0,102 $\pm$ 0,008<br>(10) | 0,104 $\pm$ 0,006<br>(18) | 0,106 $\pm$ 0,008<br>(13) | 0,105 $\pm$ 0,008<br>(13) |
| 15              | 0,113 $\pm$ 0,011<br>(9)                                | 0,141 $\pm$ 0,009<br>(9)  | 0,134 $\pm$ 0,008<br>(10) | 0,104 $\pm$ 0,009<br>(10) | 0,096 $\pm$ 0,010<br>(9)  |
| 20              | 0,110 $\pm$ 0,009<br>(10)                               | 0,145 $\pm$ 0,007<br>(10) | 0,127 $\pm$ 0,011<br>(9)  | 0,108 $\pm$ 0,008<br>(10) | 0,085 $\pm$ 0,009<br>(10) |
| 25              | 0,118 $\pm$ 0,008<br>(9)                                | 0,170 $\pm$ 0,009<br>(10) | 0,107 $\pm$ 0,001<br>(9)  | 0,075 $\pm$ 0,009<br>(10) | 0,053 $\pm$ 0,007<br>(10) |

Примечание. В скобках указано число особей.

означало, что в условиях температуры 15 °С при меньшей силе, но большей продолжительности ответа кроветворной ткани в кровоток поступало наибольшее число эритроцитов, чем при температурах 20 и 25 °С. Как видно, чем выше продукция эритроцитов, тем эффективнее протекает процесс восстановления кислородсвязывающей функции крови у особей бычка-мартовика ( $r=0,989$ ).

На основании полученных результатов можно заключить, что перестройка гемоглобиновой системы и восстановление сродства крови к кислороду у бычка-мартовика протекают тем эффективнее, чем меньше новые температурные условия среды отличаются от исходных. Снижение адаптивных возможностей данного вида связано с ограничением функциональной активности кроветворной ткани.

1. Иванова Н. Т. Атлас клеток крови рыб. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 184 с.
2. Кляшторин Л. Б., Саликьянов Р. Ф. Определение кривых кислородного насыщения крови рыб // Биология внутр. вод. — 1980. — № 47. — С. 68—71.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия. — М.: Высш. шк., 1980. — 291 с.
4. Солдатов А. А. Гемоглобиновая система бычка-мартовика при адаптации к температуре среды // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. — 1988. — 24, № 2. — С. 271—274.
5. Солдатов А. А. Эритропоэз и гемоглобиновая система у бычка-мартовика при температурной адаптации // Там же. — № 4. — С. 601—604.
6. Стародуб Н. Ф. Методы исследования структурной гетерогенности гемоглобинов млекопитающих // Методы молекулярной биологии. — Киев: Наук. думка, 1979. — С. 176—191.
7. Терехов Н. Т., Петров М. М. Клиническое применение консервированных эритроцитов. — Киев: Здоров'я, 1983. — 141 с.
8. Albers C., Götz K. H., Welbers P. Oxygen transport and acidbase balance in the blood of the sheat fish. *Silurus glanis* // Respirat. Physiol. — 1981. — 46, N 3. — P. 223—236.
9. Dobson G. D., Baldwin J. Regulation of blood oxygen affinity in the Australian black, *Gadopsis marmoratus*. I. Correlations between oxygen-binding properties, habitat and swimming behaviour // J. Exp. Biol. — 1982. — 99. — P. 223—243.
10. Eddy F. B. Blood gases of the tench (*Tinca tinca*) in well aerated and oxygen-deficient waters // Ibid. — 1974. — 60, N 1. — P. 71—83.
11. Johansen K. Comparative physiology: Gas exchange and circulation in fishes // Ann. Rev. Physiol. — 1971. — 33. — P. 569—612.
12. Nikinmaa M., Tuurala H., Soivio A. Thermoacclimatory changes in blood oxygen binding properties and gill secondary lamellar structure of *Salmo gairdneri* // J. Comp. Physiol. — 1980. — 140, N 3. — P. 255—260.

Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского АН УССР, Севастополь

Получено 02.10.89

**OXYGEN-BINDING FUNCTION OF BLOOD  
OF GOBIUS BATRACHOCEPHALUS PALLAS AND FACTORS  
OF ITS REGULATION UNDER ADAPTATION TO TEMPERATURE  
CONDITIONS OF THE MEDIUM**

**Summary**

The long-term stay of *Gobius batrachocephalus* under new temperature conditions results in the restoration of the before changed blood affinity to oxygen. Limitation of functional activity of hemopoietic tissue is the basic cause decreasing the efficiency of the given process.

УДК 591.524.12:115(261+267)

А. М. ЩЕПКИНА, В. В. ТРУСЕВИЧ, Т. Я. ПАВЛОВСКАЯ

**ОСОБЕННОСТИ ЛИПИДНОГО СОСТАВА  
У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МАССОВЫХ ВИДОВ  
ТРОПИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА ИЗ АТЛАНТИЧЕСКОГО  
И ИНДИЙСКОГО ОКЕАНОВ**

Исследованы общее содержание и фракционный состав липидов в теле некоторых представителей массовых видов зоопланктона. Показано, что у слабомигрирующих и немигрирующих видов содержание общих липидов не превышает 2,0—2,3%, у мигрантов — 3%. Доминирующими фракциями являются фосфолипиды и триацилглицерины. Все исследованные виды, кроме креветок, содержат воск. Вертикальные миграции сопровождаются снижением содержания общих липидов и восков при подъеме планктона в верхние горизонты обитания.

Зоопланктон в качестве главного промежуточного звена между фитопланктоном и потребителями (планктоноядными рыбами) занимает важное место в трансформации органического вещества в экосистемах морей и океанов. Одним из основных компонентов органического вещества являются липиды, которым принадлежит ведущая роль в обеспечении энергетических процессов в организме. Поэтому вопросам изучения динамики и фракционного состава липидов при исследовании энергетических взаимоотношений в планктонных сообществах уделяется большое внимание. Содержание липидов варьирует в широких пределах и зависит от множества факторов: видового состава, условий обитания, трофности района, возраста, пола, а также физиологического состояния организма [1]. Полагают, что липиды интенсивно расходуются в процессе вертикальных миграций [1, 10, 11].

Известно, что пути липидного метаболизма в морских пищевых цепях основаны на потреблении фитопланктонных липидов зоопланктоном и превращении их в воск, которые затем превращаются планктоноядными рыбами в триацилглицерины [10, 11, 14]. Состав липидов зоопланктона изучен подробно с помощью методов тонкослойной и газожидкостной хроматографии. Наиболее подробно исследован липидный состав зоопланктона северных вод благодаря многочисленности и доступности этих животных [7, 13]. Тропические копеподы изучены значительно меньше.

Интерес представляло исследование липидного состава в теле массовых видов зоопланктона из тропической части Атлантического и Индийского океанов, а также особенностей динамики фракционного состава при вертикальных миграциях у типичных представителей мигрантов.

**Материал и методика.** Исследовали 8 массовых видов тропического зоопланктона — в Атлантическом океане 4 вида копепод: *Calanus gracilis* Dana, *Scolecithrix danae* Lubbock, *Undinula vulgaris* Dana,

© А. М. Щепкина, В. В. Трусевич, Т. Я. Павловская, 1991