

УДК 591.524.11: 574.472 (262.5)

**О ВЛИЯНИИ МАССЫ ТЕЛА И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ
НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ АНАДАРЫ – *ANADARA
KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906) АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО
БАССЕЙНА**

Жаворонкова А. М., Золотницкий А. П., Сытник Н. А.

*ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», Керчь,
Республика Крым, Россия
E-mail: ann4356@yandex.ua*

Исследована интенсивность дыхания двустворчатого моллюска – анадара (*Anadara kagoshimensis*), интродуцированной в Азово-Черноморский бассейн. Зависимость скорости потребления кислорода (R , мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) от сухой массы тела (W , г) моллюсков описывалась степенной функцией. Изучены сезонные изменения интенсивности дыхания этого вида при различной температуре воды в интервале температуры 7–25 °С. Показано, что с повышением температуры скорость дыхания моллюсков возрастала, но максимальные значения (1,13 мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) были зарегистрированы в преднерестовый период при температуре 20 °С. С возрастанием температурного режима значения коэффициентов регрессии (k) характеризовались устойчивым отрицательным трендом. Рассчитаны температурные коэффициенты (Q_{10}) в разные сезоны года, обнаружено, что повышенное значение Q_{10} , равное 4,17, обусловлено как влиянием температуры, так и репродуктивными процессами анадара.

Ключевые слова: анадара, интенсивность дыхания, температурный коэффициент, репродукция.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в Азово-Черноморском бассейне появился ряд стихийных вселенцев (аутоакклиматизантов), которые могли бы быть перспективными объектами промысла и марикультуры. К ним можно отнести представителя семейства арковых (Arcidae) – анадара (*Anadara kagoshimensis*, Tokunaga, 1906 (син. *Anadara inaequalvis*, Bruguiere, 1798), которую в различных публикациях называют кровавой ракушкой, кунеаркой или скафаркой [1–4]. Этот вид характерен для побережья морей Юго-Восточной Азии и широко распространен в Индийском и Тихом океанах.

Появление этого вида в Азово-Черноморском бассейне связывают с переносом моллюска судами с балластной водой [1, 4]. В 80-х гг. этот вид стал встречаться в донных биоценозах Черного моря, сначала в прибрежных районах Болгарии, затем на шельфе Румынии [2, 5]. Позднее анадара обнаружили в Керченском проливе, а затем вид был зарегистрирован в Азовском море [6, 7]. Предельный возраст анадара в Азово-Черноморском бассейне составляет 9 лет. В Черном море этот вид вырастает до 80 мм, в Азовском – до 52–54 мм и массой до 46 г. Представители этого семейства встречаются на побережье Индии, Индонезии, Японии, Кореи, Малайзии и в других

странах. В ряде зарубежных стран (Китае, Японии, Малайзии, Таиланде) различные виды арковых широко используется в качестве объекта культивирования [8–10].

В результате интродукции анадары в Азово-Черноморском бассейне рядом исследователей получены важные данные о биологии и экологии этого вида [1–7, 11]. В то же время ряд вопросов, представляющих интерес для марикультуры моллюсков Черного моря, остался малоизученным или совсем не исследованным. В частности, при разработке биологических основ культивирования тех или иных гидробионтов необходимо проведение детальных эколого-физиологических исследований приспособительных реакций (адаптаций) водных организмов к различным факторам среды. Без этого невозможно достичь оптимизации условий для разных онтогенетических стадий и добиться максимальной реализации биологических функций того или иного вида [12].

Одним из таких вопросов является определение уровня энергетического баланса (бюджета) моллюсков, где важнейшей характеристикой метаболических процессов является скорость потребления кислорода [1, 5, 14]. Этот показатель является важнейшим компонентом энергетического баланса организма и отражает его расходную часть, указывая на изменения физиологического состояния под влиянием различных экологических факторов. Такие исследования на анадаре ранее не проводились, и они представляют несомненный интерес для биологии и экологии, а также для исследований марикультуры этого вида.

В задачу настоящей работы входило изучение влияния массы тела и температуры воды на интенсивность дыхания анадары в различные сезоны года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили особи анадары, собранные в 2014–2016 гг. в Керченском проливе. Длина моллюсков варьировала в пределах 15–49 мм, живая масса (со створкой) изменялась от 1,26 до 39,6 г. Температура воды во время опытов изменялась незначительно – от $7 \pm 0,5$ до $25 \pm 0,5$ °С, соленость колебалась в незначительных пределах – 13,0–13,2 ‰.

Изучение скорости потребления кислорода моллюсками проводили методом замкнутых сосудов [13]. Перед опытом животных в течение двух суток выдерживали в лотке с проточной водой, затем переносили в респирометры с профильтрованной морской водой. После того, как моллюски открывали створки и начинали фильтровать воду, зондом брали пробу для определения начального содержания кислорода в воде. Затем респирометры закрывали и экспонировали в течение 3–4 часов. Объем сосудов варьировал от 1 до 5 л, в зависимости от количества животных в опыте. Во время опыта вода в респирометрах перемешивалась с помощью магнитной мешалки. Содержание начального и потребленного моллюсками кислорода определяли йодометрическим методом Винклера.

Количество потребленного кислорода (R , мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) моллюсками определяли по уравнению:

$$R = \frac{(R_1 - R_2)}{n \cdot t} \cdot V,$$

где R_1 и R_2 – исходное и конечное содержание кислорода в опытном респирометре соответственно, n – число животных в опыте, t – продолжительность опыта (час.), V – объем сосуда (л). Параллельно проводили контрольные опыты, в которых определяли изменение скорости потребления кислорода без моллюсков. После завершения опыта моллюсков подвергали биологическому анализу (определяли длину, высоту и выпуклость животного, а также общую массу, массу мягких тканей, раковины, пол моллюсков). Определение сухой массы проводили на мягких тканях моллюсков (W , г), которых высушивали в течение 3-х суток при температуре 65°C , после чего находили этот показатель по эмпирическому уравнению:

$$W = 0,052 \cdot W_j - 0,047, r^2 = 0,92, \quad (1)$$

где W_j – общая (живая) масса моллюсков, r^2 – коэффициент детерминации. Величину температурного коэффициента Вант-Гоффа (Q_{10}) между двумя интервалами с разной температурой воды определяли по формуле [1]:

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(t_2-t_1)},$$

где R_1 и R_2 – скорости потребления кислорода моллюсками при температуре t_1 до t_2 . Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли по общепринятым методам, а также с помощью компьютерной статистической программы «Statistica-10» и электронных таблиц «Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение скорости потребления кислорода (R) моллюсками в зависимости от сухой массы тела в разные сезоны года показало, что, как и у других видов двустворчатых моллюсков, эти показатели тесно связаны между собой, что хорошо аппроксимируется степенной функцией:

$$R = a \cdot W^k,$$

где R – скорость дыхания ($\text{мг O}_2 \text{ час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$); W – сухая масса мягких тканей тела моллюсков, (г); a – коэффициент пропорциональности, численно равный скорости потребления кислорода при W , равном 1 г; k – коэффициент регрессии, характеризующий удельную скорость дыхания анадары при изменении массы тела [13–15]. В двойной логарифмической системе координат эта зависимость выражается прямой линией с определенным углом наклона (рис. 1).

В численном виде указанная связь при 7°C хорошо описывается степенной функцией:

$$R = 0,22 \cdot W^{0,81 \pm 0,068}. \quad (2)$$

Таким образом, с возрастанием массы тела скорость потребления кислорода устойчиво возрастает. Вместе с тем известно, что важнейшим фактором, влияющим на жизнедеятельность, является температура воды [14–16]. В этой связи нами исследованы сезонные изменения скорости дыхания анадары в интервале $7\text{--}25^\circ\text{C}$.

В таблице 1 приведены данные по влиянию температуры на скорость дыхания анадары. Из нее видно, что наиболее низкая интенсивность дыхания, численно равная коэффициенту « a », моллюсков зарегистрирована при 7°C – $0,22 \text{ мг O}_2 \text{ час}^{-1} \text{ г}^{-1}$. С повышением температуры воды наблюдалось устойчивое возрастание ее значений.

При 12 °С коэффициент пропорциональности составил 0,34, при 20 °С достиг 1,13, однако при дальнейшем повышении температуры до 25 °С уровень дыхания снизился до 0,86 мг O₂·час⁻¹·г⁻¹. Располагая данными по дыханию, нетрудно перейти к уровню энергетического обмена моллюсков. По данным А. Ф. Алимова [13], 1 мг O₂ эквивалентен 14,2 Дж энергии, и, умножив эту величину на значение коэффициента «а», можно определить ориентировочные траты энергии на метаболизм данного вида.

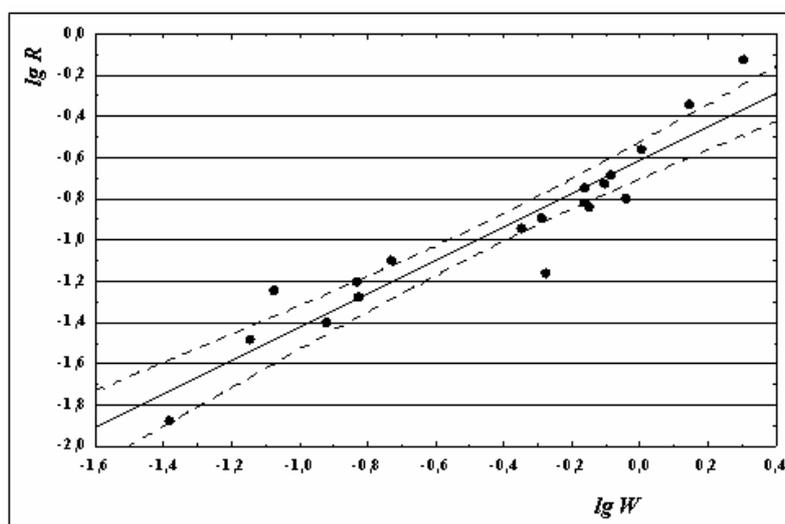


Рис. 1. Скорость дыхания анадары (R , мг O₂·час⁻¹·экз⁻¹) в зависимости от сухой массы тела (W , г) в Керченском проливе ($T = 7$ °С, $S = 13,1$ ‰); (штриховые линии – 95 % доверительный интервал).

Таким образом, произведением этой величины и значения коэффициента «а» можно определить ориентировочные траты энергии на метаболизм данного вида.

Таблица 1

Зависимость скорости дыхания анадары (R , мг·O₂·час⁻¹·экз⁻¹) в зависимости от сухой массы тела (W , г) в Керченском проливе ($S = 13,0 - 13,2$ ‰)

Период работ (T , °С)	N	W	a	S_a	k	S_k	r^2
Ноябрь ($7 \pm 0,5$)	19	0,041-2,012	0,22	0,038	0,81	0,068	0,911
Апрель ($12 \pm 0,5$)	17	0,027-2,060	0,34	0,044	0,72	0,092	0,799
Май ($20 \pm 0,5$)	18	0,048-2,410	1,13	0,113	0,68	0,065	0,864
Июнь ($25 \pm 0,5$)	19	0,024-1,986	0,86	0,211	0,65	0,079	0,813

N – число особей в опыте; W – пределы колебаний массы тела моллюсков; a и k – параметры уравнения; S_a – стандартная ошибка a ; S_k – стандартная ошибка k ; r^2 – коэффициент детерминации.

Представляло интерес сопоставить полученные нами результаты с материалами других авторов. Однако, как отмечалось выше, литературные данные по дыханию этого вида отсутствуют, хотя для других видах рода *Anadara* такие данные имеются. Так, тайландские исследователи [17] нашли, что скорость потребления кислорода близкородственного вида – *Anadara granosa* – при температуре 28 °С и солености 30 ‰ описывалась уравнением:

$$R = 0,540 \cdot W^{0,604}, \quad (3)$$

где размерность R и W такая же, как и в наших опытах.

Другие авторы [18] на ином виде анадары (*Anadara sinilis*) получили более высокие данные. В частности, при температуре 25 °С и солености 32 ‰ скорость дыхания этого вида выражалась следующим уравнением:

$$R = 0,583 \cdot W^{1,02}, \quad (4)$$

где R выражалась в мл O₂·час⁻¹·экз⁻¹ (т. е. значение коэффициента пропорциональности увеличивается в 1,43 и составляет 0,83). Следует также отметить работу [19], где авторы на 2-х группах (мелкой, длиной 20,6 ± 0,85 мм и массой 4,41 ± 2,30 г) и крупной (34,58 ± 2,23 мм и 12,43 ± 0,44 г) этого вида моллюсков обнаружили, что с возрастанием температуры от 10 до 25 °С и солености с 20 до 40 ‰ отмечается устойчивый положительный тренд каждой из указанных переменных. Характерно, что интенсивность дыхания при начальных значениях температуры 10 °С и солености 20 ‰, в конце опыта возрастала: при 25 °С и 40 ‰ на 0,40–0,55 мг O₂·час⁻¹·г⁻¹. Наиболее высокая интенсивность дыхания получена японскими учеными [20], где коэффициент пропорциональности (a) составлял 2,33. Таким образом, наши данные, за исключением последней работы, довольно близки с имеющимися литературными материалами.

Вместе с тем обращает на себя внимание заметное снижение коэффициента регрессии «k», значение которого заметно отличается от величины 0,73, определенной А. Ф. Алимовым [13] для морских двустворчатых моллюсков и 0,75, приведенной в сводке Хеммингсена [20] для всех пойкилотермных животных. Как известно, у эктотермов весьма часто наблюдается обратная зависимость между значениями коэффициентов «a» и «k», т. е. с возрастанием «a» происходит уменьшение коэффициента регрессии «k», и наоборот (правило Локера) [21].

На рис. 2 приведены изменения коэффициента регрессии (k) в уравнениях зависимости скорости потребления кислорода от температуры воды (T, °С) у этого вида моллюска. Указанная связь достаточно хорошо описывается обычным линейным уравнением:

$$k = 0,835 - 0,0075 \cdot T, r^2 = 0,747. \quad (5)$$

Снижение значений «k» с возрастанием температуры воды ранее было детально рассмотрено в монографиях В. Е. Заики [21] и И. В. Ивлевой [14] при сравнительном анализе энергетического обмена у различных видов кишечноротовых, ракообразных, моллюсков и шетинкочелюстных. Часто это связывают с малым диапазоном массы экспериментальных животных, продолжительностью акклимации, изменением температуры воды и другими не всегда учитываемыми факторами.

В наших опытах указанные факторы не могли оказать существенного влияния на величину коэффициента регрессии. Диапазон массы тела опытных животных был достаточно велик: минимальные и максимальные их значения различались между собой более чем в 30–50 раз.

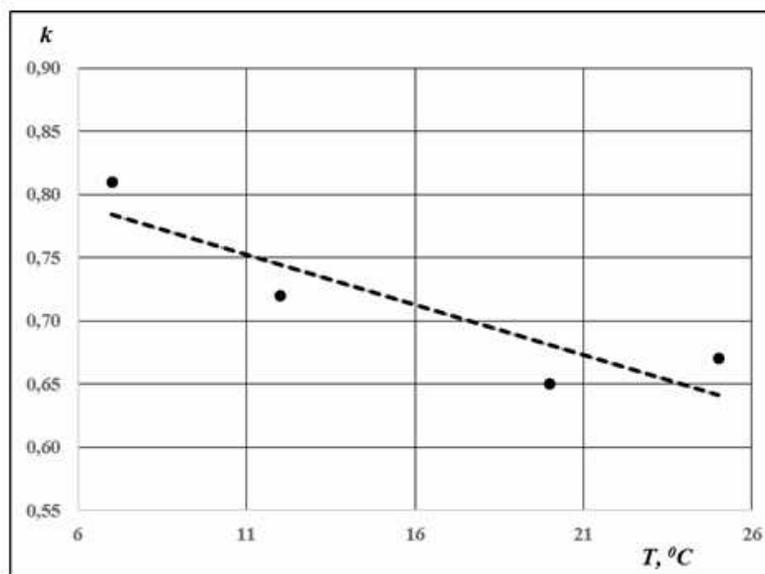


Рис. 2. Изменения коэффициента регрессии (k) при различной температуре воды (T , °C) у анадары.

Малый срок акклимации моллюсков к экспериментальной температуре также не мог быть определяющим фактором: опыты с моллюсками проводили при температуре воды, соответствующей естественной среде обитания.

Поскольку опыты проводились при разных значениях температуры, коэффициенты пропорциональности и регрессии полученных уравнений были различны, что не допускает их строгого сравнения. Это возможно лишь при равенстве констант регрессии или по величине R/W у животных одинаковой массы [13, 15]. В настоящее время для сравнения интенсивности дыхания разных экспериментальных групп широко используется уравнение, предложенное Бейном и Ньюеллом [15]:

$$R_{st} = \left[\frac{W_s}{W_e} \right]^k \cdot R_e$$

где R_e и W_e – экспериментальное значение скорости дыхания и массы тела, R_{st} и W_{st} – стандартизированное значение скорости дыхания и массы тела, k – коэффициент регрессии, связывающий скорость потребления кислорода с массой тела при данной температуре воды. В наших опытах стандартизированное значение массы тела (W_{st}) было принято равным 1 г (в сухой массе тела).

На рис. 3 представлены стандартизированные значения интенсивности дыхания анадары (R/W , мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$) при различной температуре воды.

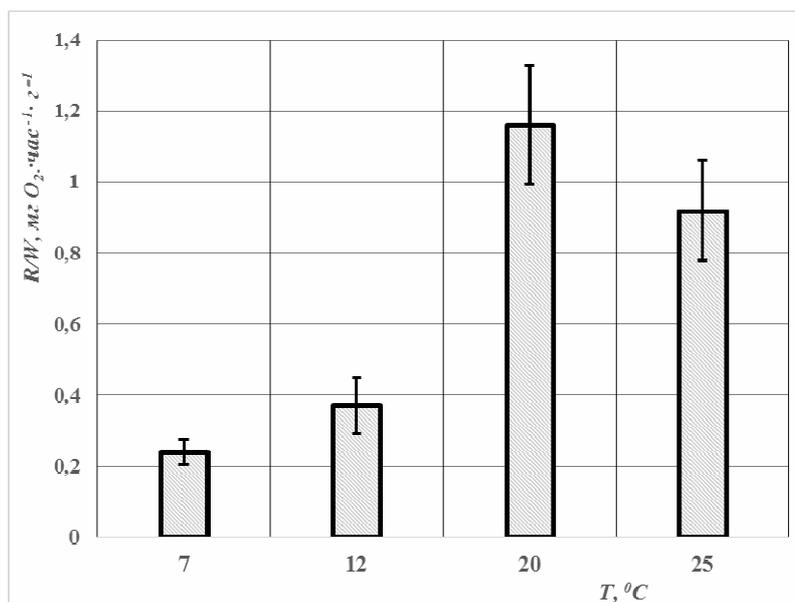


Рис. 3. Стандартизированные значения интенсивности дыхания (R/W , мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$) при различной температуре (T , °C) анадары; (вертикальные линии – 95 % доверительный интервал).

На нем видно, что с повышением температуры воды наблюдается возрастание интенсивности потребления кислорода, хотя имелись некоторые количественные различия. В этой связи нами рассчитан температурный коэффициент Ван-Гоффа (Q_{10}). При возрастании температуры воды с 7 до 12 °C величина Q_{10} составляла 2,38, тогда как в интервале 12–20 °C значение резко возросло и достигло – 4,17. Однако при дальнейшем повышении температуры от 20 до 25 °C значение Q_{10} уменьшилось и составило 0,89.

В связи с этим особый интерес заслуживают данные о величине температурного коэффициента при температуре 20 °C. В это время значение Q_{10} резко увеличилось, хотя, по литературным данным, этот диапазон близок к оптимуму жизнедеятельности этого вида [3, 4, 16–19]. Если принять величину Q_{10} ту же, что и в интервале температуры 7–12 °C, то значение R/W при 20 °C должно быть близким к 0,6–0,7 мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$, тогда как в опыте он составил более чем в 1,5 раза большую величину – 1,16 мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$. По-видимому, резкое возрастание интенсивности дыхания (энергетического обмена) связано не только с повышением температуры воды в этот период, но и с особенностями биологии и экологии анадары. Это может быть обусловлено изменением относительного (аллометрического) роста моллюска на протяжении года: сезонными изменениями

массы мягкой ткани, раковины и мантийной жидкости, темпом роста и биохимическим составом, а также неодинаковой интенсивностью дыхания соматической и генеративной ткани. Мы полагаем, что именно последний фактор в значительной мере определяет значительно более высокий уровень дыхания.

Из литературных данных известно, что у многих видов моллюсков в преднерестовый период наблюдается чрезвычайно высокий уровень метаболических процессов. В частности, это отмечено у черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*) [22], у которой в период формирования половых клеток резко возрастают энергетические траты на обмен (особенно у самок), что связано с более интенсивным потреблением кислорода генеративной тканью по сравнению с соматической. В то же время в посленерестовый период, несмотря на возрастание температуры воды, интенсивность дыхания моллюсков снижается.

Аналогичный эффект наблюдается также у гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*) [23]. Авторами обнаружено два периода повышенной метаболической активности: на стадиях относительного покоя и в преднерестовой период, причем в первом случае это было связано с высокими температурами воды (18 °С), во втором – с репродуктивной активностью моллюсков, когда температура воды была около 5 °С. Здесь можно привести материалы и ряда других авторов о связи изменений скорости дыхания с репродуктивной активностью у пресноводных и морских моллюсков, которые частично были обобщены в монографии А. Ф. Алимова [13]. Что касается анадары, интродуцированной в Черное море, то этот вид начинает размножаться в летний период при температуре воды, близкой к 20 °С и выше [3–5]. Именно в это время в наших опытах зарегистрирован наиболее высокий уровень метаболизма, который в период нереста начинает снижаться.

Таким образом, резкое возрастание интенсивности дыхания при 20 °С с последующим ее снижением в нерестовый период мы связываем не только с температурой, но и с особенностями гаметогенеза моллюсков. Следовательно, кроме массы тела и температуры воды, важнейшую роль в уровне энергетического обмена анадары играют внутренние биологические ритмы, а именно процессы созревания и нереста, сложившиеся в ходе эволюции и связанные с условиями среды обитания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы процессы дыхания анадары (*Anadara kagoshimensis*), интродуцированной в Черное море. Показано, что скорость потребления кислорода тесно связана с массой тела и описывается уравнением: $R = a \cdot W^k$.
2. Обнаружено, что с повышением температуры воды с 7 до 25 °С происходит устойчивое возрастание уровня потребления кислорода моллюсками (коэффициент «а») при одновременном снижении коэффициента регрессии (k).
3. На основе сравнительных данных по интенсивности дыхания (R/W , мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$) анадары при разных температурах определены изменения Q_{10} в интервале температуры 7–25 °С, которые варьировали от 0,89 до 4,11.
4. Наиболее значительное возрастание интенсивности дыхания (R/W) обнаружено в преднерестовый период (при 20 °С), что, вероятно, обусловлено

как изменением температуры воды, так и репродуктивной активностью анадары.

Список литературы

1. Золотарев В. Н. Двустворчатый моллюск *Cunearca cornea* – новый элемент фауны Черного моря / В. Н. Золотарев, П. Н. Золотарев // Докл. АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 2. – С. 501–503.
2. Анистратенко В. В. Двустворчатый моллюск *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) в северной части Азовского моря: завершение колонизации Азово-Черноморского бассейна / В. В. Анистратенко, И. А. Халиман // Вест. зоологии. – 2006. – Т. 40, № 6. – С. 505–511.
3. Чикина М. В. Аспекты биологии размножения *Scapharca inaequalis* (Bruguière) (Bivalvia, Arcidae) в Черном море / М. В. Чикина, Г. А. Колочкина, Н. В. Кучерук // Экология моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 72–77.
4. Щербань С. А. Современное состояние эколого-биологических исследований двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Токунага, 1906), как перспективного объекта культивирования в Черном море / С. А. Щербань, Н. К. Ревков // VIII Всеросс. науч. конф. по промышленным беспозвоночным. Мат. докладов. – Калининград, 2–5 сентября 2015 г. Изд-во КГТУ, 2015. – С. 259–262.
5. Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии / Под ред. Г. Е. Шульмана, А. А. Солдатова; ИНБИОМ НАН Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – 323 с.
6. Иванов Д. А. Аутоклиматизация промыслового моллюска *Cunearca cornea* в Керченском проливе / Д. А. Иванов // Биол. моря. – 1991. – № 5. – С. 95–98.
7. Фроленко Л. Н. Формирование биоценоза вселенца кунearки *Cunearca cornea* в Азовском море / Л. Н. Фроленко, О. В. Двинянинова // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна. – Ростов-на-Дону, 1998 – С. 115–118.
8. Culland C. A. The fish resources of the oceans / C. A. Culland // FAO Fish. Techn. Paper. – 1998. – № 97. – 425 p.
9. Sturmer L. N. The Potential of Blood Ark (*Anadara ovalis*) and Ponderous Ark (*Noetia ponderosa*) Aquaculture in Florida. Results of Spawning, Larval Rearing, Nursery, and Grow out Trials / L. N. Sturmer, J. M. Nuñez, R. L-R. Creswell, S. M. Baker / Sea grant. – 2009. – 76 p.
10. Yurimoto T. Spawning season and larval occurrence of blood cockle (*Anadara granosa*) off the Selangor coast, Peninsular Malaysia / T. Yurimoto, F. M. Kassim, A. Man, R. Fuseya // International J. Aquatic Biol. – 2014. – V. 2(6). – P. 299–304.
11. Sahin C. Seasonal Variations in Condition Index and Gonadal Development of the Introduced Blood Cockle *Anadara inaequalis* (Bruguiere, 1789) in the Southeastern Black Sea Coas / C. Sahin, E. Döğru, L. Okumut // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2006. – V. 6. – P. 155–163.
12. Гербильский Н. Л. Теория биологического прогресса вида и ее использование в рыбном хозяйстве / Н. Л. Гербильский // Теоретические основы рыбоводства. – М.: Пищ. пром-ть, 1972. – С. 101–111.
13. Алимов А. Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков / А. Ф. Алимов. – Л.: Наука. – 1981. – 248 с.
14. Ивлева И. В. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных / И. В. Ивлева. – К.: Наук. думка, 1981. – 232 с.
15. Bayne B. L. Physiological energetics of marine mollusks. The Mollusca / B. L. Bayne, R. C. Newell // In: Wilburg K. M., Saleuddin A. S. M. (Eds.). – Acad. Press-London. – 1983. – Vol. 4. – P. 407–515.
16. Kang K. H. Influence of Water Temperature and Salinity on Oxygen Consumption and Filtration Rate of Ark Shell, *Anadara granosa bisenensis* / K. H. Kang, J.-M. Kim, Y. H. Kim // Korean Journal of Malacology. – 2004. – V. 20, № 2. – P. 107–110.
17. Nabhitabhata J. Oxygen consumption of blood cockle, *Anadara granosa* Linn. / J. Nabhitabhata, Y. Soodmee, S. K. Rayong // J. Agris Since. – 2012. – V.3. – P. 37–41.

18. Djangmah J. S. Oxygen Consumption of the West African Blood Clam *Anadara senilis* / J. S. Djangmah, J. Davenport, S. E. Shumway // Mar. Biol. – 1980. – V. 56. – P. 213–217.
19. Food availability for particle-feeding bivalves, *Anadara* spp. in Fiji // A. E. S. Yousef, T. M. Buhadi, Kobari K. Kawai, T. Yamamoto, H. Suzuki, S. Nishimura, T. Tori and J. Veitayaki. – Pacific Science. – 2013. – V. 67, №. 4. – P. 1–27.
20. Hemmingsen A. H. Energy metabolisms related to body size and respiratory surfaces and its evolution / A. H. Hemmingsen // Rep. sten. Mem. Hosp. Nord. Insulin lab. – Copengagen, 1960. – V. 9, № 2. – P. 7–100.
21. Заика В. Е. Балансовая теория роста животных / В. Е. Заика. – К.: Наук. думка, 1985. – 252 с.
22. Брайко В. Д. Сезонные изменения в дыхании мидий / В. Д. Брайко, С. С. Дерешкевич // Экология моря. – 1978. – Вып. 44. – С. 31–36.
23. Седова Л. Г. Зависимость интенсивности обмена от репродуктивной активности морского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Joy) / Л. Г. Седова, Г. И. Викторовская // Известия ТИПРО. – 2000 – Т. 127. – С. 469–474.

EFFECTS OF BODY WEIGHT AND WATER TEMPERATURE ON THE INTENSITY OF RESPIRATION OF BLOOD COCKLE - *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906) THE AZOV-BLACK SEA BASIN

Zhavoronkova A. M., Zolotnitsky A. P., Sytnik N. A.

FSBEI HE "Kerch State Maritime Technological University", Kerch, Crimea, Russian Federation
E-mail: ann4356@yandex.ua

Respiration intensity of the bivalve blood cockle – *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) introduced in the Azov and Black Sea Basin is investigated. Mollusks of 15–49 mm long with the body weight (including the shell) ranging from 1,26 to 39,6 g were selected for the experiment. Water temperature during the studies varied within 7–25 °C, whereas salinity ranged insignificantly – from 13,0 to 13,2 ‰. The research results showed that the relation between the oxygen consumption rate (R , $\text{mg O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ind.}^{-1}$) and lean body weight (W , g) of the mollusks can be described using the exponential function of the form: $R = a \cdot W^k$. Seasonal variations of the intensity rate of the studied mollusk were investigated under different water temperature values. With water temperature being 7 °C, the « a » coefficient value made up 0,22; with the water temperature increase up to 12 and 20 °C the molluscs respiration rate reached 0,34 and 1,13, correspondingly. However, with the water temperature equaling 25 °C its value reduced to 0,86 $\text{mg O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. In general, under conditions of the water temperature increase (T , °C) the regression coefficient value (k) had a negative trend: its value made up 0,81, 0,72, 0,65 and 0,67, correspondingly. The revealed relationship can be approximated using a simple equation: $k = 0,835 - 0,0075 \cdot T$. The obtained data were transformed; standardized changes of the respiration intensity (R/W) under different temperature modes were analyzed. Based on the results, temperature coefficients (Q_{10}) during different seasons were estimated. It was found out that, with the temperature increase, Q_{10} values also increase; however, the highest Q_{10} value (4,17) was reported during the mollusks' pre-spawning period at 20 °C. The now available data can be

considered while discussing the impact of water temperature and reproduction processes on the energy exchange of blood cockle.

Keywords: blood cockle, respiration intensity, temperature coefficient, reproduction.

References

1. Zolotarev V. N., Zolotarev P. N. Dvustvorchatyy mollyusk *Cunearca cornea* – novyy element fauny Chernogo morya, *Dokl. AN SSSR*, **297**, 2, 501 (1987).
2. Anistratenko V. V., Khaliman I. A. Dvustvorchatyy mollyusk *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) v severnoy chasti Azovskogo morya: zaversheniye kolonizatsii Azovo-Chernomorskogo basseyna, *Vest. Zoologii*, **40**, 6, 505 (2006).
3. Chikina M. V., Kolyuchkina G. A., Kucheruk N. V. Aspekty biologii razmnozheniya *Scapharca inaequalis* (Bruguière) (Bivalvia, Arcidae) v Chernom more, *Ekologiya morya*, **64**, 72 (2003).
4. Shcherban' S. A., Revkov N. K. Sovremennoye sostoyaniye ekologo-biologicheskikh issledovaniy dvustvorchatogo mollyuska *Anadara kagosnimensis* (Tokunaga, 1906), kak perspektivnogo ob'yekta kul'tivirovaniya v Chornom more, *VSH Vseross. nauch. konf. po promyslovym bespozvonochnym. Mat. doklados.* – Kaliningrad, 2–5 sentyabrya 2015 g., 259 (Izdatel'stvo KGTU, 2015).
5. *Chernomorskiye mollyuski: elementy sravnitel'noy i ekologicheskoy biokhimi* / Pod red. G. Ye. Shul'mana, A. A. Soldatova; INBYUM NAN Ukrainy, 323 (Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2014).
6. Ivanov D. A. Autaklimatizatsiya promyslovogo mollyuska *Cunearca cornea* v Kerchenskom prolive, *Biol. Morya*, **5**, 95 (1991).
7. Frolenko L. N., Dvinyaninova O. V. Formirovaniye biotsenoza vselemtsa kunearki *Cunearca cornea* v Azovskom more, *Osnovnyye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoyemov Azovskogo basseyna*, 118 (Rostov-na-Donu, 1998).
8. Culland C. A. The fish resources of the oceans, *FAO Fish. Techn. Paper.*, **97**, 425 (1998).
9. Sturmer L. N., Nuñez J. M., Creswell R. L-R., Baker S. M. The Potential of Blood Ark (*Anadara ovalis*) and Ponderous Ark (*Noetia ponderosa*) Aquaculture in Florida. Results of Spawning, Larval Rearing, Nursery, and Grow out Trials, *Sea grant.*, 76 (2009).
10. Yurimoto T., Kassim F. M., Man A., Fuseya R. Spawning season and larval occurrence of blood cockle (*Anadara granosa*) off the Selangor coast, Peninsular Malaysia, *International J. Aquatic Biol.*, **2(6)**, 299 (2014).
11. Sahin C., Dönmez E., Okumut L. Seasonal Variations in Condition Index and Gonadal Development of the Introduced Blood Cockle *Anadara inaequalis* (Bruguière, 1789) in the Southeastern Black Sea Coas, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **6**, 155 (2006).
12. Gerbil'skiy N. L. Teoriya biologicheskogo progressa vida i yeye ispol'zovaniye v rybnom khozyaystve, *Teoreticheskiye osnovy rybovodstva*, 101 (M.: Pishch. prom-t', 1972).
13. Alimov A. F. *Funktsional'naya ekologiya presnovodnykh dvustvorchatykh mollyuskov*, 248 (L.: Nauka, 1981).
14. Ivleva I. V. *Temperatura sredy i skorost' energeticheskogo obmena u vodnykh zhitotnym*, 232 (K.: Nauk. dumka, 1981).
15. Bayne B. L., Newell R. C. *Physiological energetics of marine mollusks*. The Mollusca, In: Wilburg, K. M., Saleuddin, A.S.M. (Eds.), **4**, 407 (Acad. Press-London, 1983).
16. Kang K. H., Kim J.-M., Kim Y. H. Influence of Water Temperature and Salinity on Oxygen Consumption and Filtration Rate of Ark Shell, *Anadara granosa bisenensis*, *Korean Journal of Malacology*, **20**, 2, 107 (2004).
17. Nabhitabhata J., Soodmee Y., Rayong S. K. Oxygen consumption of blood cockle, *Anadara granosa* Linn., *J. Agris Since.*, **3**, 37 (2012).
18. Djangmah J. S. Davenport J., Shumway S. E. Oxygen Consumption of the West African Blood Clam *Anadara senilis*, *Mar. Biol.*, **56**, 213 (1980).
19. Yousef A. E. S., Buhadi T. M., Kawai K. Kobari, Yamamoto T., Suzuki H., Nishimura S., Tori T. and Veitayaki J., Food availability for particle-feeding bivalves, *Anadara* spp. in Fiji, *Pacific Science.*, **67**, **4**, 1 (2013).

20. Hemmingsen A. H. Energy metabolism related to body size and respiratory surfaces and its evolution, *Rep. sten. Mem. Hosp. Nord. Insulin lab.*, 9, 2, 7 (Copenhagen, 1960).
21. Заика В. Ye. *Balansovaya teoriya rosta zhivotnykh*, 252 (K.: Nauk. dumka, 1985).
22. Brayko V. D., Dereshkevich S. S. Sezonnnye izmeneniya v dykhanii midiy, *Ekologiya morya.*, 44, 31 (1978).
23. Sedova L. G., Viktorovskaya G. I. Zavisimost' intensivnosti obmena ot reproductivnoy aktivnosti morskogo grebeshka *Mizuhopecten yessoensis* (Joy), *Izvestiya TINRO.*, 127, 469 (2000).