УДК 639.512

Брежнев Л.Л., Иванов С.С., Пономарев А.К., Сапрыкин В.П.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ pH ВОДЫ НА РАЗВИТИЕ ПОСТЛИЧИНОК И РАННЕЙ МОЛОДИ ПРЕСНОВОДНОЙ КРЕВЕТКИ *MACROBRACHIUM ROSENBERGII*

Аннотация. Подкисление дождевой воды (кислотные дожди), обусловленное промышленными выбросами, в настоящее время является серьезной угрозой для водных экосистем. В статье исследовано влияние уровня pH воды на развитие, выживаемость и минеральный состав экзоскелета постличинок и ранней молоди гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii*. Эксперимент проводился в контролируемых условиях при четырех уровнях pH (7,5; 6,5; 5,5 и 4,5) в течение 40 суток. Результаты показали, что при pH среды близкой к нейтральной (pH 7,5 и 6,5) обеспечивают максимальные показатели роста (длина тела до 4,51 см, масса до 3,43 г) и выживаемости (90–95 %). При снижении pH до 5,5 и 4,5 наблюдалось значительное ухудшение продуктивности: замедление роста (на 13,5 % и 25,5 % соответственно), снижение массы тела и выживаемости (до 45 % при pH 4,5). Спектрофотометрический и химический анализы показали прямую зависимость содержания кальция в экзоскелете от кислотности воды: при pH 7,5 и 6,5 его концентрация составляла 8,2 и 8,0 мг/г, тогда как при pH 5,5 и 4,5 – лишь 3,5 и 2,2 мг/г. Это связано с растворением карбоната кальция ($CaCO_3$) в кислой среде, что приводит к ослаблению панциря и нарушению линьки. Дополнительно подтверждено негативное влияние низкого pH на белковые структуры экзоскелета. Исследование подтверждает угрозу антропогенного закисления водоемов Юго-Восточной Азии для дикой популяции и аквакультуры *M. rosenbergii*, показывает необходимость контроля pH при искусственном выращивании. Полученные данные актуальны для расширения производства креветок в регионах с устойчивыми экологическими условиями, включая Россию.

Ключевые слова: *Macrobrachium rosenbergii*, pH воды, закисление воды, выживаемость постличинок, качество экзоскелета, кальций экзоскелета, аквакультура.

Brezhnev L.L., Ivanov S.S., Ponomarev A.K., Saprykin V.P.

INFLUENCE OF WATER pH LEVEL ON DEVELOPMENT OF POSTLARVAE AND EARLY JUVENILES OF FRESHWATER SHRIMP *MACROBRACHIUM ROSENBERGII*

Abstract. Acidification of rainwater (acid rain) caused by industrial emissions is currently a serious threat to aquatic ecosystems. The article investigates the effect of water pH on the development, survival and mineral composition of the exoskeleton of postlarvae and early juveniles of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. The experiment was conducted under controlled conditions at four pH levels (7.5; 6.5; 5.5 and 4.5) for 40 days. The results showed that neutral and slightly acidic environments (pH 7.5 and 6.5) provide maximum growth (body length up to 4.51 cm, weight up to 3.43 g) and survival (90–95 %). When pH was reduced to 5.5 and 4.5, productivity was significantly reduced: growth was slower (by 13.5 % and 25.5 %, respectively), body weight and survival were reduced (up to 45% at pH 4.5). Spectrophotometric and chemical analyses showed a direct relationship between calcium content in the exoskeleton and water acidity: at pH 7.5 and 6.5, its concentration was 8.2 and 8.0 mg/g, while at pH 5.5 and 4.5, it was only 3.5 and 2.2 mg/g. This is due to the dissolution of calcium carbonate ($CaCO_3$) in an acidic environment, which weakens the shell and disrupts molting. The negative impact of low pH on the protein structures of the exoskeleton was additionally confirmed. The study confirms the threat of anthropogenic acidification of water bodies in Southeast Asia for the wild population and aquaculture of *M. rosenbergii*, and shows the need for pH control in artificial cultivation. The data obtained are relevant for expanding shrimp production in regions with stable environmental conditions, including Russia.

Keywords: *Macrobrachium rosenbergii*, water pH, water acidification, postlarval survival, exoskeleton quality, exoskeleton calcium, aquaculture

Введение. Южная Азия, Юго-Восточная Азия (ЮВА), север Океании, острова запада Тихого океана – ареал обитания гигантской пресноводной креветки (*Macrobrachium rosenbergii*). В диких условиях самки из пресных водоёмов спускаются в эстуарии рек и ближайшие прибрежные воды морей, где откладывают яйца. После вылупления личинок из яиц и их метаморфоза, постличинки возвращаются в пресные воды рек и озер. В настоящее время эта креветка активно добывается как в дикой природе, так и выращивается искусственно в условиях аквакультуры. Наибольшее её искусственное разведение сосредоточено в ЮВА, что обусловлено экономически: нет затрат на поддержание стабильной температуры воды для креветки, а также свободный и неограниченный доступ к пресной и солёной воде.

Вода – сильный растворитель, поэтому всегда несёт в себе «примеси», изменяющие её pH. В отдаленных малонаселенных районах Земли и в особо охраняемых природных зонах pH пресной воды составляет 6,02–6,74 [1], при том, что pH дождевой воды приблизительно равен 6,0 [2].

Развитие промышленности и активное перемещение производства в Южную Азию и ЮВА влечет за собой серьезные изменения экологических условий в этом районе Земли. Загрязнители воздуха попадая в атмосферу из антропогенных источников (промышленные выбросы) легко распространяются на далекие расстояния от мест выбросов пересекая при этом границы государств, моря и континенты. Кислотные осадки, обусловленные техногенными выбросами в атмосферу – быстро и наиболее серьезно воздействуют на водные экосистемы вызывая закисление воды – среды обитания дикой популяции креветки *Macrobrachium rosenbergii* [3, 4] создавая проблему и для её аквакультуры.

Имеются многочисленные сообщения о закислении пресных вод ЮВА. Например, в Малайзии – до pH 3,8–5,4 [5]; pH 3,2–6,3 [6]; pH 4,9–5,9 [7]. Есть данные о том, что 1/6 всех осадков в ЮВА несёт кислые (pH < 5,0), а 3/4 – умеренно кислые воды (pH 5,0–5,6) [7]. Изменение экологических условий обитания дикой популяции гигантской пресноводной креветки (*Macrobrachium rosenbergii*) и, соответственно, ухудшение условий искусственного её выращивания в ЮВА.

Имеются сообщения [8] о проблеме с высоким уровнем pH, возникающим в пресноводных прудах для искусственного выращивания *M. rosenbergii*, т.к. при подготовке их дна в ЮВА обильно используются удобрения.

Изучение влияния уровня pH воды при культивировании *M. rosenbergii* позволяет, не только контролировать развитие их личинок, постличинок и взрослых особей, но и яснее понимать экологию вида в диких условиях.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования явились 240 постличинок креветки *Macrobrachium rosenbergii*, которые были разделены на четыре группы. Каждая группа по 60 креветок содержалась в отдельной рыбоводной емкости объемом 700 л с установкой замкнутого водоснабжения при температуре воды 27,1–27,8 °C. Первая, контрольная группа весь срок эксперимента содержалась при pH воды 7,5. Вторая, опытная I группа – при pH воды 6,5. Третья и четвертная (опытные II и III) группы постличинок, после помещения в воду с pH 5,5 и 4,5 (соответственно) погибали в течение ближайших пары часов. Поэтому вторые партии креветок этих групп помещали в воду с изначальным pH 6,5 и с последующим плавным снижением кислотности добавлением в воду HCl. Скорость снижения pH воды составляла 0,25 единицы pH в день: в течение 4 дней до достижения pH 5,5 (опытная группа II) и в течение 8 дней до уровня pH 4,5 (опытная группа III).

Длительность эксперимента составила 40 суток от момента достижения исследуемого уровня pH воды. Ежедневно контролировали и, при необходимости, корректировали pH, температуру воды и растворённый в ней кислород. Креветок кормили два раза в сутки гранулированным коммерческим кормом. Мертвых креветок удаляли и регистрировали каждые сутки. В начале эксперимента и после его окончания проводили зоометрические исследования креветок: измеряли длину (ДТ) и массу их тела (МТ).

По окончании эксперимента у 10 креветок из каждой группы были удалены панцири для измерения количества кальция. Карапакс измельчался до состояния порошка, из которого

затем, солянокислым раствором, экстрагировали кальций. Полученный экстракт фильтровали и определяли количество кальция титриметрическим методом по индикатору мурексиду [9].

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе эксперимента мы поддерживали стабильными pH, температуру воды и растворенный в ней кислород, их колебания были незначительны (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры качества воды

Группы креветок	pH	T °C	Растворённый O_2 ($^{мг}/_{л}$)
Контрольная (pH 7.5)	7,52±0,1	27,5±0,1	7,2±0,5
Опытная I (pH 6,5)	6,49±0,1	27,7±0,1	7,1±0,5
Опытная II (pH 5,5)	5,51±0,1	27,4±0,1	7,7±0,5
Опытная III (pH 4,5)	4,49±0,1	27,4±0,1	7,2±0,5

Результаты исследования влияния разных уровней pH на рост, выживаемость и содержания кальция в панцире молоди креветки *M. rosenbergii* представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияния pH на рост, выживаемость и содержания кальция в панцире молоди *Macrobrachium rosenbergii*

Показатель	pH			
	7,5	6,5	5,5	4,5
Начало эксперимента				
Количество постличинок	60 (100 %)	60 (100 %)	60 (100 %)	60 (100 %)
ДТ (см)	0,52±0,006	0,53±0,005	0,52±0,005	0,54±0,005
МТ (г)	0,14±0,005	0,15±0,004	0,14±0,004	0,15±0,006
Конец эксперимента				
ДТ (см)	4,48±0,07	4,51±0,06	3,90±0,08	3,36 ±0,1
МТ (г)	3,42±0,05	3,43±0,05	3,16±0,06	2,41±0,07
Выживаемость	57 (95 %)	54 (90 %)	46 (76,7 %)	27 (45 %)
Уровень Ca в панцире ($^{мг}/_{г}$)	8,2	8,0	3,5	2,2

По литературным данным оптимальным значением pH для выращивания креветки *M. rosenbergii* является диапазон 7-8 pH [10]. Наши исследования по влиянию разных уровней pH воды на рост креветок Розенберга свидетельствуют, что максимальная ДТ у них имела место при содержании в воде с pH 7,5 и 6,5. Так, средняя ДТ контрольной (4,48 см) и I опытной (4,51 см) групп креветок различались незначительно всего на 0,6 % (табл. 2; рис. 1). Более кислая вода (низкий pH) негативно влияла на рост креветок. Так, ДТ креветок при pH 5,5 была ниже на 13 %, чем при pH 7,5 (4,48 см). При pH 4,5 рост креветок был минимальным (3,36 см) и отставал от группы при содержании с pH 6,5 на 25,5 %.

Массонакопление у креветок Розенберга имело чёткую зависимость от pH воды в которой они содержались. Наибольшее увеличение массы тела креветок имело место при их содержании в воде с pH 7,5 (3,42) и pH 6,5 (3,43 г), фактически оно было сопоставимо (рис. 2). При низких уровнях pH воды увеличение массы тела креветок замедлялось на 7,6 % (3,16 г – pH 5,5) и 29,5 % (2,41 г – pH 4,5).

Наибольшая выживаемость креветок Розенберга 95 % (57 из 60) имела место при их содержании в воде с pH 7,5 (рис. 3). В воде с pH 6,5 выживаемость креветок была несколько ниже 90 % (54 из 60). При более низких уровнях pH воды выживаемость креветок снижалась значительно и составила при pH воды 5,5 – 76,7 % (46 из 60), а при pH 4,5 – 45 % (27 из 60).

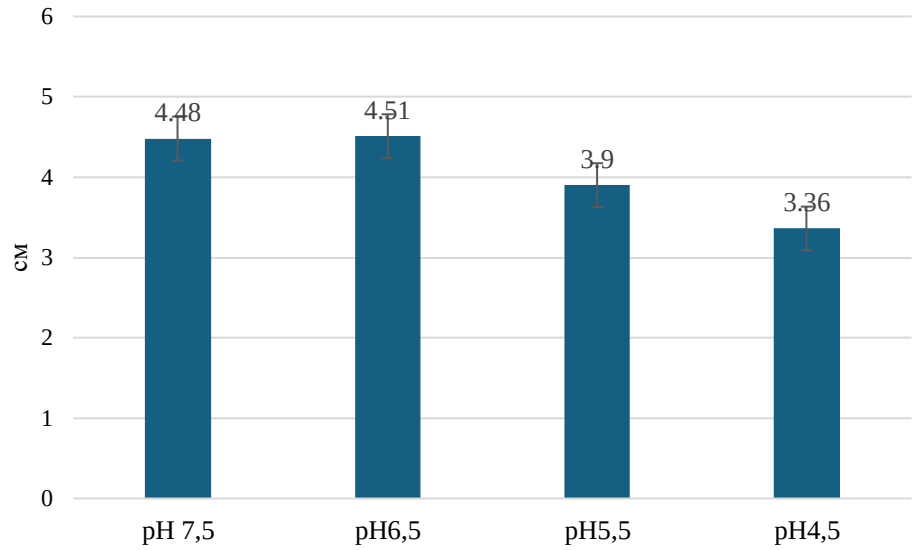
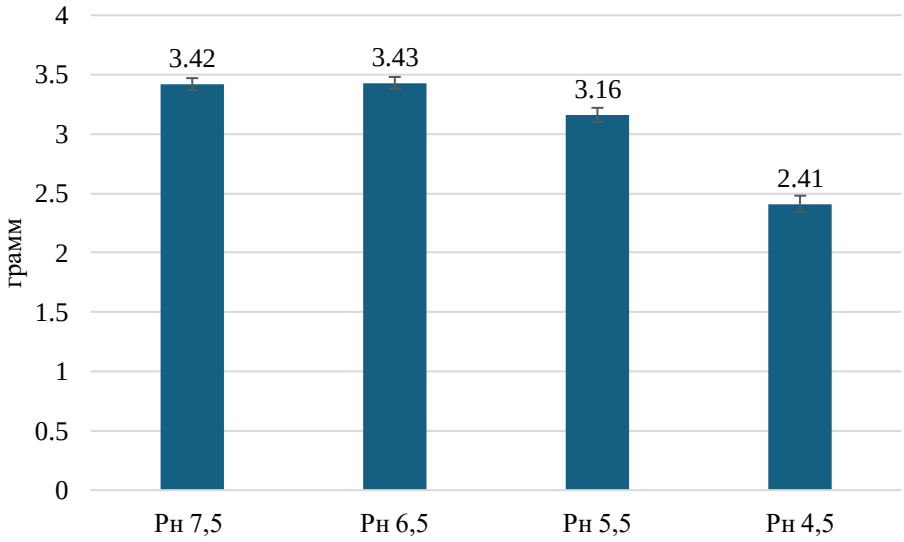


Рисунок 1 – Рост молоди *M. rosenbergii* при культивировании в воде с разной pH



.

Рисунок 2 – Массонакопление молоди *M. rosenbergii* при культивировании в воде с разной pH

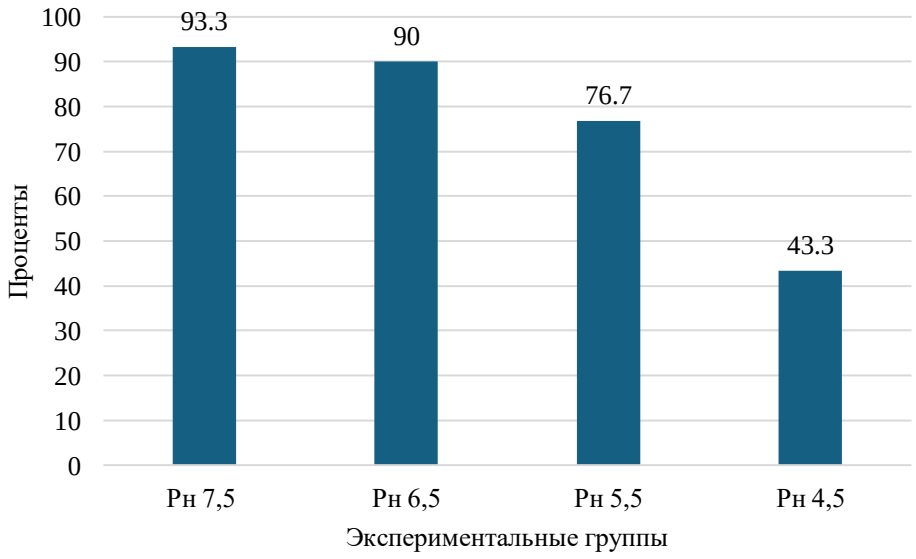


Рисунок 3 – Влияние pH воды на выживаемость молоди *M. rosenbergii*

Экзоскелет у ракообразных – сложная структура из органических (полисахарид – хитин; протеины и пигменты – каротиноиды) и неорганических веществ [11]. Он выполняет не только опорную функцию, но и играет роль депо макро- (P, K, Mg, Na, Ca) и микроэлементов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd) [12]. До 45–50 % кальция в панцире представлено его карбонатом ($CaCO_3$) [13].

Известно, что уровень pH воды обитания влияет на экзоскелет беспозвоночных (например, моллюски, морские ежи): при очень низком уровне pH он истончается из-за растворения их кальция кислотой [14].

Содержание молоди креветок Розенберга в воде при pH 7,5 и 6,5 существенно не влияло на количество кальция в их экзоскелете. Оно составляли 8,2 и 8 мг/г сухого вещества их карапакса.

Снижение pH воды с 6,5 до 5,5 вызвало уменьшение содержания кальция в карапаксе молоди *M. rosenbergii* более чем в два раза до 3,5 мг/г, а при содержании креветок в воде со значением pH 4,5 — до 2,2 мг/г (рис. 4).

Полученные результаты показывают, что количество кальция в карапаксе напрямую зависимость от уровня pH воды, в которой обитает креветка.

На наш взгляд это объясняется следующим образом:

1. В кислой воде (при низких уровнях pH) происходит более интенсивное окисление неорганических веществ всех структур экзоскелета креветок. При взаимодействии $CaCO_3$ экзоскелета креветки с кислотой проходит реакция нейтрализации, в результате которой образуется хлорид кальция, вода и углекислый газ ($CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2$). В итоге содержание кальция в экзоскелете снижается;

2. При повышенной кислотности воды может затрудняться поступление в организм креветки Розенберга необходимых макроэлементов, участвующих в образовании их панциря;

3. Ещё одним фактором снижения содержания кальция в экзоскелете креветок, вероятно, является вымывание солей кальция как из внутренней среды организма креветки, так и из её панциря, который значительно усиливается при понижении pH воды, т. е. увеличении её кислотности.

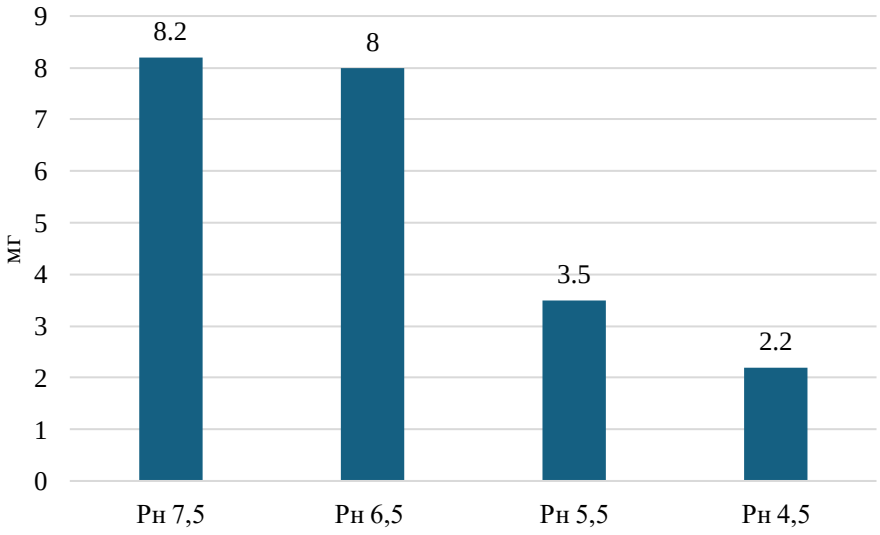


Рисунок 4 – Влияние pH воды на содержания кальция в панцире молоди *M. rosenbergii* (мг/г)

С помощью спектрофотометрии мы оценивали влияние низкого уровня pH на панцирь *M. rosenbergii* в диапазоне 190–1100 нм.

Известно, что:

- белки (протеины) в своем составе содержат аминокислоты, имеющие хромофорные группы (триптофан, тирозин и фенилаланин), чем обусловлено то, что основной диапазон поглощения ими света приходится на область 260–280 нм [15].

- спектр поглощения света хитином имеет широкий пик в ультрафиолетовом диапазоне

(250–380 нм), что обусловлено наличием в его молекуле ароматических аминов и их двойных связей с углеводородами [16].

- карбонат кальция практически прозрачен в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне (около 950–1100 нм) [17].

- пигменты (каротиноиды) интенсивно поглощают свет в сине-зелёной части видимого спектра (около 450–550 нм) [18].

- минеральные соли и микроэлементы слабо поглощают света в видимом диапазоне.

Исходя из этого мы оценивали полученные нами результаты спектрометрии в диапазоне 190-1100 нм (рис. 5–8).

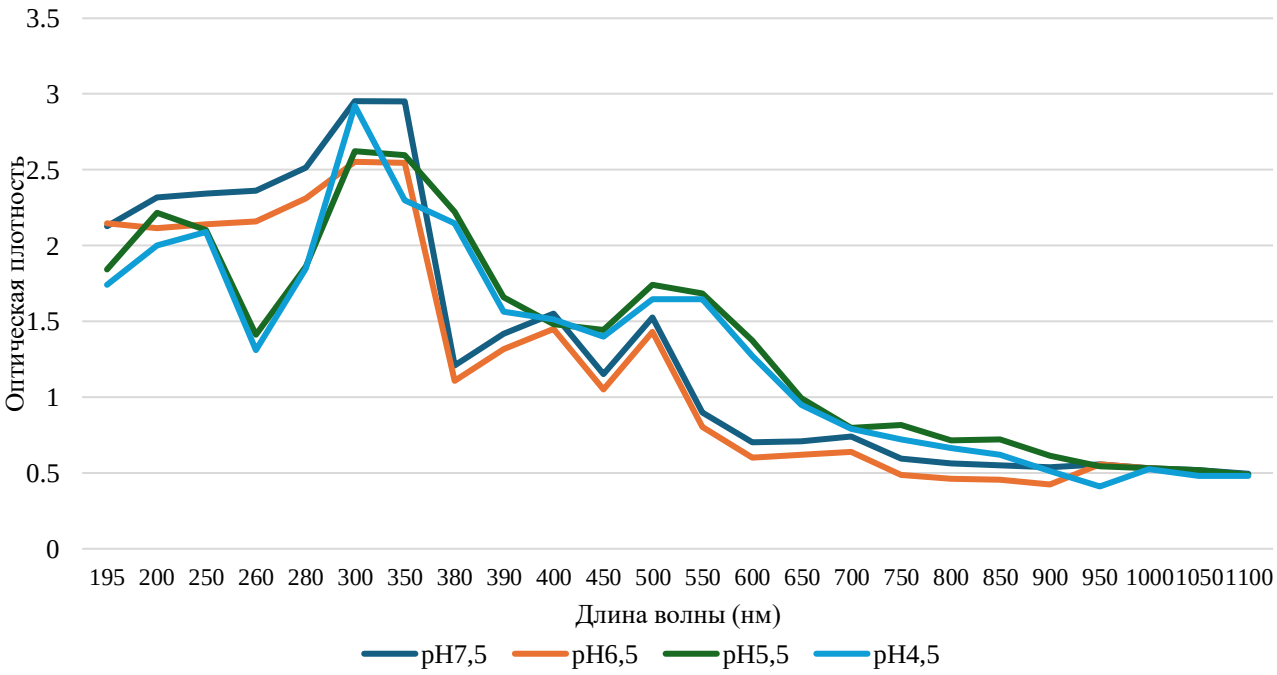


Рисунок 5 – Результаты спектрофотометрического исследования панциря креветок, выращенных в воде с разным уровнем pH в диапазоне спектра 190–1100 нм

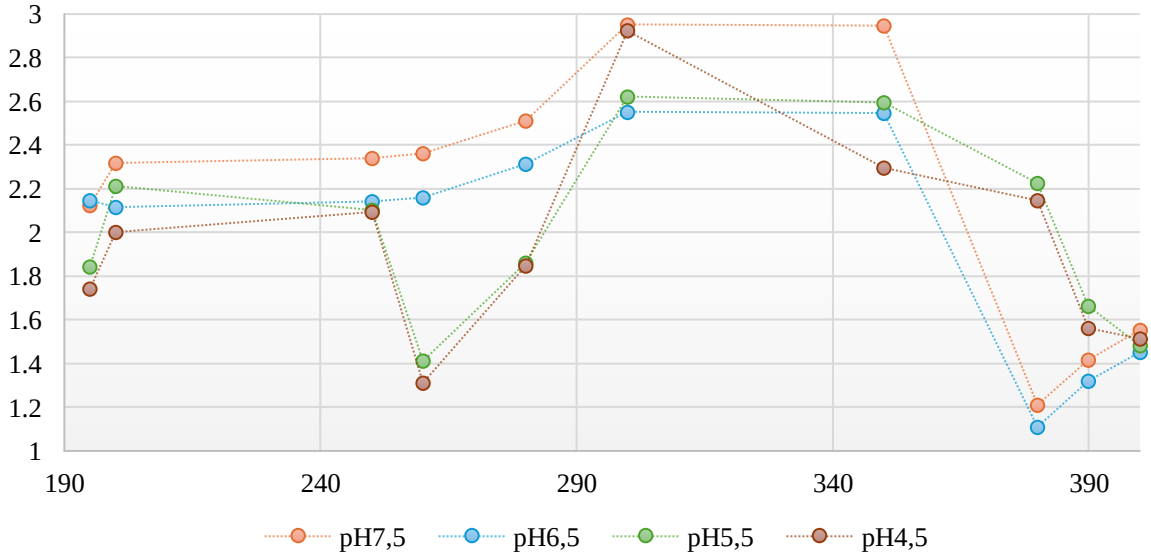


Рисунок 6 – Результаты спектрофотометрического исследования панциря креветок, выращенных в воде с разным уровнем pH в диапазоне ультрафиолетового спектра (190–400 нм)

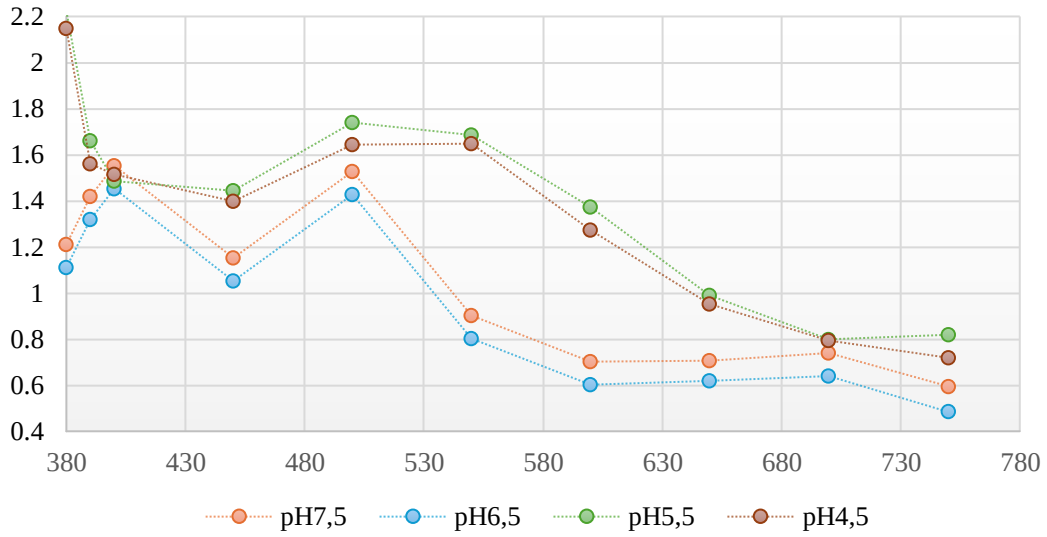


Рисунок 7 – Результаты спектрофотометрического исследования панциря креветок, выращенных в воде с разным уровнем pH в диапазоне видимого спектра (380–750 нм)

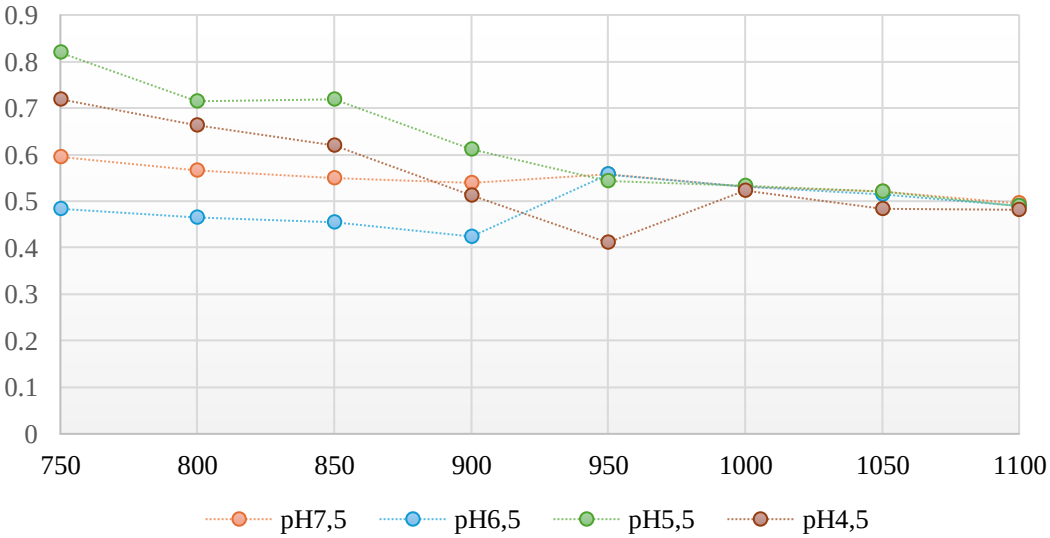


Рисунок 8 – Результаты спектрофотометрического исследования панциря креветок, выращенных в воде с разным уровнем pH в ближнем инфракрасном диапазоне спектра (750–1100 нм)

На общей спектрограмме (рис. 5) чётко видны 4 пика (максимума) поглощения спектра света (300-350 нм, 380 нм, 400 нм, 500 нм) и 3 «полосы поглощения» (минимума) спектра света (260 нм, 390 нм, 450 нм).

Подробный разбор спектрограммы панциря креветки показывает несколько зависимостей:

1. В экзоскелете креветок опытных групп II (pH 5,5) II (pH 4,5) белок, обычно резонирующий в УФ-спектре в области 260-280 нм имеет выраженный минимум поглощения – свет не поглощается образцом (рис. 5, 6), что может свидетельствовать о потере белка в условиях кислых сред;

2. С наложением спектра 250-380 нм на часть линии белка, резонирует хитин в УФ-диапазоне спектра (рис. 5, 6). На графике видно, что экзоскелет креветок опытной группы III (pH 4,5) имеет выраженную линию поглощения 300 нм, если соотносить с потерей белка у этой группы, то можно полагать, что кислая среда негативно сказывается на белковых соединениях с потерей их в таком количестве, что возможна его спектрофотометрическая регистрация

(четкое поглощение в спектре хитина);

3. Линии поглощения – 400 нм, свидетельствующие о наличии пигментов, остаются без каких-либо сильных изменений во всех группах креветок. Пик линии пигментов 500 нм одинаков у всех групп креветок без выраженной зависимости от условий их содержания.

Металлы, присутствующие в виде микроэлементов, демонстрируют слабоинтенсивный пик поглощения в области 700 нм, который является общим для всех исследуемых групп образцов.

В ближнем инфракрасном спектре (950-1100 нм) регистрируются соли карбонатов кальция и другие неорганические элементы панциря креветки. Спектрограмма (рис. 8), не показывает то особых изменений поглощения. Только в экзоскелете креветок III опытной группы (pH 4,5) выявлен минимум в точке 650 нм с последующим его выравниванием в ближнем инфракрасном спектре.

Выводы. Данные, полученные в результате нашего исследования, свидетельствуют, что:

1. Продукционные показатели креветок *M. rosenbergii* при выращивании их в условиях аквакультуры в воде с pH близким к нейтральной или слегка щелочной (pH 7,5 и 6,5) были близкими, при этом выживаемость креветок была максамальной – 95 и 90% соответственно;

2. Закисление воды (снижение pH до 5,5 и 4,5) оказывает негативный эффект на рост, массонакопление и выживаемость креветок;

3. Содержание кальция в экзоскелете креветок напрямую зависит от величины pH воды. При pH 7,5 и 6,5 количество кальция близко: 8,2 и 8,0 мг/г сухого вещества панциря креветки соответственно. Понижение pH до 5,5 и 4,5 приводило к снижению содержания кальция в карапаксе молоди *M. rosenbergii* и составило 3,5 и 2,2 мг/г соответственно.

На основании полученных нами данных можно полагать, что понижение pH воды до 5,5–4,5 проводит к вымыванию кальция из экзоскелета *M. rosenbergii*, что в свою очередь влияет на продукционные показатели молоди креветки.

Антропогенно обусловленное закисление пресных и солёных вод в ЮВА приведёт к снижению объёма товарной продукции креветки *M. rosenbergii* (как дикой, так и аквакультуральной) в этой части Земли. Для поддержания и, тем более, роста объёма поставок на мировые рынки пищевых продуктов креветок *M. rosenbergii* появляется необходимость расширения объема её выращивания в условиях аквакультуры в других регионах мира в том числе и в России.

Список использованной литературы:

1. *Gandaseca S., Rosli N., Ngayop J., Arianto C.I.* Status of water quality based on physico-chemical assessment on river water at wildlife sanctuary sibuti mangrove forest, Miri Sarawak // American Journal of Environmental Sciences. 2011. Vol. 7. P. 269–275.
2. *Tucker C.S., D'Abramo L.R.* Managing high pH in freshwater ponds, SRAC Publication No. 4604. South Regional Aquaculture Center, Stoneville, USA, 2008. 5 p.
3. *Alston D.E., Sampaio C.M.S., New M.B. (ed.), Valenti W.C. (ed.)* Nursery systems and management // Freshwater Prawn Culture: The farming of macrobrachium rosenbergii. Blackwell Science, Oxford, UK, 2000. P. 112–156.
4. *Haines T.A.* Acidic precipitation and its consequences for aquatic ecosystems: a review // Transactions of the American Fisheries Society. 1981. Vol. 110. P. 669–707.
5. *Norela S., Nurfatihah M.Z., Maimon A., Ismail B.S.* Wet deposition in the residential area of the nilai industrial park in negeri sembilan, Malaysia // World Applied Sciences Journal. 2009. Vol. 7. P. 170–179.
6. *Gasim M.B., Ismail B.S., Torioman M.E., Rahim S.A., Islam M.S., Chek T.C.* Hydrology and water quality and land-use assessment of the tasik chini's feeder rivers, Pahang, Malaysia // Geografia. 2006. Vol. 3. P. 1–16.
7. *Sumari S.M., Darus M.D., Kantasamy N., Taib N.I., Sinyaw S.U., Othman I.R.* Composition of rainwater and aerosols at global atmospheric watch in danum valley, Sabah // Malaysian Journal of Analytical Sciences. 2009. Vol. 13. P. 107–119.

8. *Boyd C., Zimmerman S., New M.B. (ed.), Valenti W.C. (ed.)* Grow-out systems – water quality and soil management // Freshwater Prawn Culture: The Farming of Macrobrachium rosenbergii. Blackwell Science, Oxford, UK, 2000. P. 221–238.
9. *Belmann F., Romano P., Fabritius H., Raabe D., Epple M.* The composition of the exoskeleton of two crustaceans: the american lobster homarus americanus and the edible crab cancer pagurus // Thermochimica Acta. 2007. Vol. 463. P. 65–68.
10. *Ibrahim H.M., Salama M.F., El-Banna H.A.* Shrimp's chemical composition, nutritional value, and utilization // Nahrung. 1999. Vol. 43. P. 418–423.
11. *Madin K.* Ocean acidification: a risky shell game // Oceanus. 2010. Vol. 48. P. 6–7.
12. *González-Martínez J., Magallanes-Vallejo A., López-Oyama A. et al.* Improved mechanical, optical, and electrical properties of chitosan films with synergistic reinforcing effect of carbon nanotubes and reduced graphene oxide for potential optoelectronic applications. 2023. Preprint available online at DOI: 10.21203/rs.3.rs-2725043/v1.
13. *Deni F., Rifky I., Athanasius B. et al.* Characterization of hydroxyapatite extracted from crab shell using the hydrothermal method with varying holding times // Journal of Renewable Materials. 2024. Vol. 12. P. 1–10.
14. РД 52.24.403-2018. Массовая концентрация ионов кальция в водах. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2018. 26 с.
15. *Тихонов Е.А., Трифанов А.В., Базыкин В.И.* Влияние типа корма и качества воды на рост и выживаемость креветок macrobrachium rosenbergii в установках замкнутого водоснабжения // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 3 (108). С. 5–10.
16. *Воробьев В.И., Чернега О.П., Титова И.М.* Влияние способов обработки на качественные и количественные показатели варёной креветки // Известия КГТУ. 2021. № 63. С. 66–77.
17. *Финкельштейн А.В., Птицын О.Б.* Физика белка: курс лекций с цветными и стереоскопическими иллюстрациями и заданиями. М.: МГУ, 2012. 456 с.
18. *Лозовицкий Д.А.* Изучение липофильных веществ травы taraxacum officinale wigg // Научный результат. Медицина и фармация. 2017. Т. 3. № 1. С. 56–62.

References:

1. Gandaseca S., Rosli N., Ngayop J., Arianto C.I. Status of water quality based on physico-chemical assessment on river water at wildlife sanctuary sibuti mangrove forest, Miri Sarawak. *American Journal of Environmental Sciences*, 2011, vol. 7, pp. 269–275. (In English).
2. Tucker C.S., D'Abramo L.R. Managing high pH in freshwater ponds, SRAC Publication no. 4604. *South Regional Aquaculture Center*, Stoneville, USA, 2008, 5 p. (In English).
3. Alston D.E., Sampaio C.M.S., New M.B. (ed.), Valenti W.C. (ed.) Nursery systems and management. *Freshwater Prawn Culture: The farming of macrobrachium rosenbergii*. Blackwell Science, Oxford, UK, 2000, pp. 112–156. (In English).
4. Haines T.A. Acidic precipitation and its consequences for aquatic ecosystems: a review. *Transactions of the American Fisheries Society,* 1981, vol. 110, pp. 669–707. (In English).
5. Norela S., Nurfatihah M.Z., Maimon A., Ismail B.S. Wet deposition in the residential area of the nilai industrial park in negeri sembilan, Malaysia. *World Applied Sciences Journal,* 2009, vol. 7, pp. 170–179. (In English).
6. Gasim M.B., Ismail B.S., Torioman M.E., Rahim S.A., Islam M.S., Chek T.C. Hydrology and water quality and land-use assessment of the tasik chini's feeder rivers, Pahang, Malaysia. *Geografia,* 2006, vol. 3, pp. 1–16. (In English).
7. Sumari S.M., Darus M.D., Kantasamy N., Taib N.I., Sinyaw S.U., Othman I.R. Composition of rainwater and aerosols at global atmospheric watch in danum valley, Sabah. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 2009, vol. 13, pp. 107–119. (In English).
8. Boyd C., Zimmerman S., New M.B. (ed.), Valenti W.C. (ed.) Grow-out systems – water quality and soil management. *Freshwater Prawn Culture: The Farming of Macrobrachium rosenbergii*. Blackwell Science, Oxford, UK, 2000, pp. 221–238. (In English).

9. Belmann F., Romano P., Fabritius H., Raabe D., Epple M. The composition of the exoskeleton of two crustaceans: the american lobster homarus americanus and the edible crab cancer pagurus. *Thermochimica Acta*, 2007, vol. 463, pp. 65–68. (In English).
10. Ibrahim H.M., Salama M.F., El-Banna H.A. Shrimp's chemical composition, nutritional value, and utilization. *Nahrung*, 1999, vol. 43, pp. 418–423. (In English).
11. Madin K. Ocean acidification: a risky shell game. *Oceanus*, 2010, vol. 48, pp. 6–7. (In English).
12. González-Martínez J., Magallanes-Vallejo A., López-Oyama A., et al. Improved mechanical, optical, and electrical properties of chitosan films with synergistic reinforcing effect of carbon nanotubes and reduced graphene oxide for potential optoelectronic applications, 2023. Preprint available online at DOI: 10.21203/rs.3.rs-2725043/v1. (In English).
13. Deni F., Rifky I., Athanasius B. et al. Characterization of hydroxyapatite extracted from crab shell using the hydrothermal method with varying holding times. *Journal of Renewable Materials*, 2024, vol. 12, pp. 1–10. (In English).
14. *RD 52.24.403-2018. Massovaya kontsentratsiya ionov kal'tsiya v vodakh. metodika izmereniy titrimetricheskim metodom s trilonom B* [RD 52.24.403-2018. Mass concentration of calcium ions in waters. measurement methodology by titrimetric method with Trilon B]. Rostov-on-Don, Roshydromet, GHI Publ., 2018, 26 p. (In Russian).
15. Tikhonov E.A., Trifanov A.V., Bazykin V.I. Vliyaniye tipa korma i kachestva vody na rost i vyzhivayemost' krevetok macrobrachium rosenbergii v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya [Influence of feed type and water quality on growth and survival of macrobrachium rosenbergii shrimp in recirculating aquaculture systems]. *AgroEkoInzheneriya [*AgroEcoEngineering], 2021, no. 3 (108), pp. 5–10. (In Russian).
16. Vorobyov V.I., Chernega O.P., Titova I.M. Vliyaniye sposobov obrabotki na kachestvennyye i kolichestvennyye pokazateli varonoy krevetki [Influence of processing methods on qualitative and quantitative indicators of boiled shrimp]. *Izvestiya KGTU* [News of KSTU], 2021, no. 63, pp. 66–77. (In Russian).
17. Finkelstein A.V., Ptitsyn O.B. *Fizika belka: kurs lektsiy s tsvetnymi i stereoskopi-cheskimi illyustratsiyami i zadaniyami* [Protein physics: lecture course with color and stereoscopic illustrations and assignments]. Moscow, MGU Publ., 2012, 456 p. (In Russian).
18. Lozovitsky D.A. Izucheniye lipofil'nykh veshchestv travy taraxacum officinale wigg [Study of lipophilic substances of the herb taraxacum officinale wigg]. *Nauchnyy rezul'tat. Meditsina i farmatsiya* [Scientific result. Medicine and pharmacy], 2017, vol. 3, no. 1, pp. 56–62. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Брежнев Леонид Леонидович	младший научный сотрудник Центра Зеленых акватехнологий факультета биотехнологий и рыбного хозяйства Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ) 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73 brezhnev2011@list.ru
Brezhnev Leonid Leonidovich	Junior researcher of the Center of Green Aquatechnologies of the Faculty of Biotechnology and Fisheries Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (FCU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 brezhnev2011@list.ru
Иванов Сергей Сергеевич	младший научный сотрудник Центра Аквакультуры факультета биотехнологий и рыбного хозяйства Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)

	109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73 npanop@inbox.ru
Ivanov Sergey Sergeevich	Junior Researcher of the Aquaculture Center, Faculty of Biotechnology and Fisheries Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (PKU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 npanop@inbox.ru
Пономарев Андрей Константинович	канд. биол. наук, доцент кафедры ихтиологии и рыбоводства факультета биотехнологий и рыбного хозяйства Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ) 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73 ponomarev88888888@gmail.com
Ponomarev Andrey Konstantinovich	Ph.D. (Biol.), Associate Professor of the Department of Ichthyology and Fish Farming, Faculty of Biotechnology and Fisheries Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (FCU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 ponomarev88888888@gmail.com
Сапрыкин Владимир Павлович	д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Центра Аквакультуры факультета биотехнологий и рыбного хозяйства Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ) 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73 v_p_s@mail.ru
Saprykin Vladimir Pavlovich	Dr. Sci. (Medic.), Professor, Leading Researcher, Aquaculture Center, Faculty of Biotechnology and Fisheries Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (FCU) 109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73 v_p_s@mail.ru