

УДК 639.517.061:636.082.14

**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ
РЕЧНЫХ РАКОВ (*ASTACUS ASTACUS*) ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДНОЙ СРЕДЫ**А.А. ИВАНОВ¹, Н.Ю. КОРЯГИНА¹, Г.И. ПРОНИНА¹, А.О. РЕВЯКИН²¹ Кафедра морфологии и физиологии животных РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; ² ГУ НЦ биомедицинских технологий РАМН)

Изучали биохимические константы гемолимфы, ее клеточный состав и адаптационные возможности европейского речного рака *Astacus astacus*. В условиях изменения общей жесткости воды раки этого вида продемонстрировали непостоянство многих биохимических констант внутренней среды (гемолимфы) и ее клеточного состава. Считают, что раки этого вида являются надежным индикатором чистоты водоема.

Ключевые слова: речные раки, гемолимфа, жесткость воды.

Вода является важнейшим природным ресурсом для человека и средой обитания большого количества видов живых организмов. Геохимическая ситуация и хозяйственная деятельность человека оказывают существенное влияние на состав воды, условия жизни гидробионтов и в конечном счете на качество жизни человека. Качество воды принято оценивать по ряду показателей, включая уровень минерализации и элементный состав минерального остатка [2]. В практическом плане оценку уровня минерализации воды удобно проводить по показателю жесткости воды, поскольку она коррелирует с общей минерализацией. Под жесткостью воды понимают общее содержание растворимых солей магния, кальция и других щелочно-земельных металлов. По величине жесткости различают следующие типы воды: мягкая (менее 4 мг-экв/дм³), среднежесткая (4–8 мг-экв/дм³), жесткая (8–12 мг-экв/дм³). Представители класса рыб в процессе эволюции адаптировались к жизни в воде с разным уровнем минерализации, приобрели совершенный механизм осморегуляции [6]. Тем не менее видовое разнообразие водных биоценозов ассоциируется с мягкой и среднежесткой водой [3, 11]. Для человека избыточная жесткость питьевой воды, равно как и низкая степень минерализации нежелательны, поскольку выступают факторами риска развития ряда хронических заболеваний. Отмечена корреляция между жесткостью питьевой воды и вероятностью развития коронарной болезни сердца: чем жестче вода, тем меньше риск заболевания [13]. Вода с низкой жесткостью может быть причиной микроминеральной недостаточности, например, по йоду, фтору, кобальту, селену, марганцу. Имеются указания о том, что как жесткая, так и мягкая вода при постоянном использовании отрицательно влияет на баланс минеральных веществ в организме животных и человека, поэтому провоцирует развитие вторичных заболеваний, включая патологии минерального и витаминного обмена [4].

Для гидробионтов слишком мягкая вода нежелательна из-за недостатка в ней солей кальция и магния, необходимых для нормального функционирования, роста

и развития. С другой стороны, минеральные компоненты воды взаимодействуют с попадающими в водоем поллютантами, усиливая или ослабевая их биологические эффекты. Высокоминерализованная вода, образуя нерастворимые комплексы, уменьшает действие токсикантов на рыб. В мягкой воде поллютанты лучше растворяются, и их токсичность становится выше, чем в жесткой воде. Кроме того, ионы кальция, уменьшая проницаемость биологических мембран, препятствуют проникновению ядов внутрь организма и тем самым снижают их токсичность [10]. К тому же ионы кальция принимают участие в активации системы иммунной защиты [7].

Показано, что у раков *Astacus astacus* в водоемах с мягкой водой и повышенной кислотностью (рН 4) в присутствии алюминия (25 $\mu\text{моль/л}$) и ионов кальция (100 $\mu\text{моль/л}$) развивается метаболический ацидоз. Восстановление кислотно-щелочного равновесия при этом сопровождается гипервентиляцией, обеспечивающей удаление избыточных количеств углекислого газа [12]. Другие адаптационные механизмы раков не описаны.



Рис. 1. Европейские речные раки (слева направо): широкопалый речной рак *Astacus astacus*, длиннопалый речной рак *Pontastacus leptodactylus*, сухопалый речной рак *Pontastacus salinus*

Жесткость воды в природных водоемах изменяется в широких пределах и зависит от уровня осадков, сезона года, хозяйственной активности человека в пределах водосбора. Минимальная жесткость речной воды бывает во время весеннего паводка, когда в водоемы поступает большое количество талой (деминерализованной) воды. Для водоемов нашей географической зоны ПДК_в кальция составляет 180 мг/дм^3 , ПДК_{вр} ионов Mg^{2+} 40 мг/дм^3 . Характерной особенностью кальция является его склонность образовывать в поверхностных слоях устойчивые пересыщенные растворы карбонатов. Ионная форма кальция типична только для маломинерализованных природных вод. Известны устойчивые комплексные соединения кальция с органическими веществами, содержащимися в воде. В некоторых маломинерализованных окрашенных водах до 100% ионов кальция могут быть связаны с гуминовыми кислотами.

Содержание магния в поверхностных водах подвержено большим колебаниям. Как правило, максимальные концентрации магния в воде наблюдаются в летнее время, минимальные — в период половодья [1, 5].

Очевидно, что колебания концентрации солей кальция и магния в среде обитания оказывают большое (и не всегда благоприятное) влияние на организм речных раков. Однако адаптационные механизмы организма раков при этом остаются мало понятными. В результате практические работники аквакультуры не имеют надежных рычагов управления ростом и развитием гидробионтов. Этот пробел послужил побудительным мотивом для проведения данного исследования.

Целью работы явилось изучение гомеостаза речных раков при их содержании в воде с разным уровнем минерализации. В задачи исследований входило: клиническое обследование раков; разработка методики прижизненного получения эндолимфы и ее подготовки для анализа; анализ клеточного состава эндолимфы; биохимический анализ эндолимфы.

Материалы и методы

В эксперименте были использованы половозрелые самцы широкопалых речных раков *Astacus astacus*, которые являются аборигенными обитателями водоемов средней полосы России (рис. 1). Период эксперимента: май–июнь 2009 г. Раки были разделены на 3 группы, по 5 экземпляров в каждой и содержались в 54-литровых аквариумах (площадь дна 0,18 м²) с водоочисткой и принудительной аэрацией. Плотность посадки — 15 экз/м². На протяжении опыта температура воды в аквариумах поддерживалась на уровне 16°С. В качестве корма использовались мелкие личинки хирономид (мотыль) и хара. Контрольная группа раков содержалась в бассейне со средней жесткостью воды (8 мг-экв/л). Первая и вторая опытные группы отличались тем, что находились в бассейнах с пониженной (5,6 мг-экв/л) и повышенной (10,1 мг-экв/л) жесткостью воды. Понижение общей жесткости достигалось с помощью добавления дистиллированной воды (1:1). Повышение общей жесткости получали за счет добавления в аквариумы мраморной крошки и хлористого кальция из расчета 40 мг кальция на 1 л воды. Заданный уровень жесткости контролировали лабораторными методами определения общей жесткости воды [11].

Гидрохимические параметры воды в начале и конце эксперимента, продолжительностью один календарный месяц, представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристика гидрохимических свойств воды

Показатель	Контрольная группа	1-я опытная группа	2-я опытная группа
Жесткость общая (мг-экв/л)	8,0/8,0	5,6/5,7	10,1/9,8
Кальций общ. (мг/л)	104/110	70/66	140/136
Магний общ. (мг/л)	34/30	26/29	38/37
pH	8,0/7,9	8,0/7,4	8,0/7,8
-NO ₃ (мг/л)	Менее 5		
-NO ₂ (мг/л)	Менее 0,02		
-PO ₄ (мг/л)	0,1		
Железо общ. (мг/л)	0,01		

П р и м е ч а н и е. Числитель — в начале; знаменатель — в конце эксперимента.

Гемолимфу для анализа отбирали прижизненно с соблюдением правил асептики и антисептики методом пункции вентрального синуса раков. Отбор гемолимфы осуществляли одноразовыми шприцами. Место пункции обрабатывали 96%-м спиртом. Точку выбирали вблизи латерального края брюшка с вентральной стороны, иглу направляли вдоль тела. Следует подчеркнуть, что гемолимфа раков имеет высокую скорость агглютинации (свертывания). Гемолимфа утрачивает свою текучесть уже через 3–5 с после пункции. Поэтому работа с гемолимфой раков требует от исследователя высокой скорости выполнения всех процедур и анализов.

Дифференциальный подсчет клеток для составления гемоцитарной формулы проводили в камере Горяева. Биохимический анализ эндолимфы выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе Chem Well Awareness Technology. Перед ана-

лизом гемолимфу центрифугировали в течение 5 мин при 3000 об/мин и температуре 6°C. Активность ферментов оценивали при температуре 37°C. Время свертывания гемолимфы определяли методом Моравица в модификации Тодорова.

Результаты и их обсуждение

Результаты биохимических и гематологических исследований гемолимфы речных раков *Astacus astacus* представлены в таблице 2.

Таблица 2

Биохимические и гематологические показатели речных раков *Astacus astacus*, содержащихся в условиях с различным уровнем кальция в воде

Показатель	Контроль	1-я группа	Cv	2-я группа	Cv	P*
АЛТ (Ед/л)	176,8	60,1±5,39	15,5	179,7±88,83	85,7	>0,05
АСТ (Ед/л)	148,9	41,9±6,72	27,8	68,4±16,36	41,4	>0,05
Глюкоза (ммоль/л)	2,9	4,8±2,38	85,1	2,6±0,52	34,3	>0,05
Лактат (мг/дл)	319,5	241,9±66,05	47,3	249,2±65,20	45,3	>0,05
Магний (мг/дл)	7,5	7,8±0,05	1,2	7,53±0,36	8,2	>0,05
Медь (мкг/дл)	466,7	177±50,5	49,2	175,0±24,2	24,0	>0,05
ЩФ (Ед/л)	34,0	25,0±1,70	11,8	23,8±4,12	30,0	>0,05
Альбумин (г/дл)	9,0	6,0±0,82	23,8	3,1±0,71	40,0	<0,05
Амилаза (Ед/л)	0,9	2,7±0,42	27,2	2,5±0,89	62,1	>0,05
Железо (мкг/дл)	60,7	—	—	25,3±7,90	54,2	<0,05
Кальций (мг/дл)	39,4	39,4±0,45	2,0	39,3±0,71	3,1	>0,05
Общий белок (г/дл)	34,9	21,7±2,81	22,5	18,3±1,25	11,8	>0,05
Панкреатическая амилаза (Ед/л)	3,6	3,1±1,40	79,1	4,6±3,20	120,3	>0,05
Фосфор (мг/дл)	5,1	4,77±0,809	29,4	4,05±1,05	44,9	>0,05
Цинк (мкг/дл)	32,3	63,47±13,278	36,2	71,0±6,28	15,3	>0,05
Время свертывания гемолимфы (сек)	2,4±0,27	3,33±0,27	14,1	3,25±0,29	15,4	>0,05
pH гемолимфы	5,8±0,22	6,2±0,27	7,6	6,3±0,29	8,0	>0,05

Примечание. P* — различия достоверны между речными раками, находившимися в условиях пониженной и повышенной жесткости воды.

Исследования показали, что гемолимфа является гомеостатичной внутренней средой раков. Если проводить сравнение констант внутренней среды раков и теплокровных, то можно утверждать, что у раков понятие «гомеостаза» имеет ряд ограничений. Для раков более корректен термин «гомеокинез». Большинство показателей внутренней среды раков следует относить к категории «мягких констант», поскольку пределы колебаний отдельных биохимических показателей у раков существенно шире, чем, например, у теплокровных животных.

Активная реакция внутренней среды раков при нормальной жизнедеятельности может изменяться в широком диапазоне — от 5,8 до 6,3 ед. Известно, что pH крови высших животных — это жесткая константа гомеостаза, поскольку клеточные ферменты имеют очень узкий оптимум pH и температуры. Пластичность pH эндолимфы раков предопределяет и широкий диапазон активности ферментов пластического и энергетического обменов. В то же время пластичность pH эндолимфы раков отражает и более ограниченные возможности буферных систем внутренней среды этих животных.

Активность ферментов трансаминирования — аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ), характеризующих активность пластических процессов в печени, — изменялась в пределах от 28 до 180 ед/л. Уровень минерализации воды повлиял на активность АЛТ и АСТ. У раков 1-й группы активность АЛТ и АСТ эндолимфы составила соответственно 60 и 42 ед. Во 2-й группе раков (с повышенным уровнем минерализации среды обитания) значения активности АЛТ и АСТ были существенно выше — 180 и 68 ед. Учитывая, что в контрольной группе активность АЛТ и АСТ составила 177 и 149 ед, то можно заключить, что АЛТ чувствительна к понижению минерализации воды. АСТ реагирует снижением активности как на пониженную, так и на повышенную минерализацию воды.

Амилаза гемолимфы имеет у раков панкреатическое и тканевое происхождение. В соответствии с устоявшимися представлениями панкреатическая амилаза осуществляет гидролиз крахмала в ЖКТ. Она синтезируется в экзосекреторной части поджелудочной железы и частично забрасывается в кровяное русло. Тканевая амилаза отражает состояние углеводного метаболизма и прежде всего гидролиз полисахаридов в печени. Этот фермент у раков не относится к числу жестких констант гомеостаза, поскольку его активность подвержена многократным изменениям от 0,9 до 6,0 ед/л. Данные таблицы 2 показывают, что понижение минерализации водной среды раков сопровождается повышением активности тканевой амилазы в 3 раза. Результатом этих изменений является концентрация глюкозы в эндолимфе, которая у раков 1-й группы возросла до 4,8 ммоль/л против 2,9 ммоль/л в контроле.

Панкреатическая амилаза более константна. Диапазон ее активности — 3,6–4,6 ед/л. Однако комментировать это явление сложно, поскольку нет информации о состоянии экзосекреторной активности панкреатических структур у раков в условиях опыта. Можно предположить, что как повышение минерализации, так и ее понижение относительно контроля сопровождалось подавлением пищевой активности без изменений пищеварительной активности ЖКТ раков, включая секреторную функцию застенных пищеварительных желез.

Наблюдения за широкопалыми раками с пониженным до 56 мг/л содержанием кальция в воде показало, что у этого вида относительно низкая минерализация воды провоцирует линьку, т.е. фактически стимулирует анаболические процессы и морфогенез. Не исключено, что понижение солености воды в естественных пределах вызывает усиление анаболических реакций и у раков других видов, включая интенсивное расщепление гликогена мышц или печени с целью дополнительного энергетического обеспечения пластических процессов. Не исключено, что амилаза имеет отношение и к процессу разрушения старого карапакса, основу которого составляют полисахариды группы хитина. Допускаем, что этот фермент у ракообразных может иметь стереоизомерную вариацию с гидролитической активностью по отношению к олигосахаридам, образующимся во время линьки в процессе разрушения карапакса под влиянием хитиназы.

Фермент щелочная фосфатаза в организме высших животных выполняет несколько функций. Этот фермент характеризуется полиморфизмом, имеет разное происхождение (слизистая кишка, печень, костная ткань) и соответственно разное диагностическое значение (состояние гепатобилиарного тракта, минерализация костной ткани, абсорбция фосфора в ЖКТ). Происхождение и тем более диагностическое значение щелочной фосфатазы эндолимфы раков абсолютно не изучено. Поэтому на данном этапе представляет интерес определение пределов референтных значений активности этого фермента у речных раков.

В условиях нашего опыта активность щелочной фосфатазы изменялась в узком диапазоне значений (20–30 ед.) по сравнению с другими цитозольными ферментами.

Степень минерализации воды оказала недостоверное влияние на активность этого фермента. Данный показатель имел большие индивидуальные отклонения от средней величины в пределах опытных групп раков. Тем не менее можно говорить о некоторых тенденциях. Активность щелочной фосфатазы в 1-й и 2-й опытных группах составила величины 25 и 24 ед. против 34 ед. в контроле, т.е. имело место падение активности фермента при изменении минерализации воды. Следует обратить внимание на то, что уровень неорганического фосфора в эндолимфе раков опытных групп был ниже, чем в контроле, на 16–29%. Это косвенный факт подтверждения снижения активности щелочной фосфатазы. Известно, что биохимическая роль щелочной фосфатазы заключается в разрушении химических связей фосфорорганических соединений и высвобождении фосфорного остатка. Именно этот процесс и зафиксировал биохимический анализ эндолимфы раков, оказавшихся в воде с измененной степенью минерализации.

Минеральный состав жидких тканей животных (кровь, молоко, спинномозговая жидкость и др.) отличается относительным постоянством, что предопределяет стабильность осмотического давления жидких сред. У ракообразных эндолимфа является единственной жидкой тканью, доступной для глубокого изучения. Литературные источники не дают нам ответа на вопрос о минеральном составе эндолимфы и факторах, влияющих на него. Наши исследования свидетельствуют, что минеральный состав внутренней среды речных раков довольно специфичен. По сравнению с позвоночными животными у раков более высокий уровень кальция, сопоставимый уровень фосфора, очень высокий уровень меди и низкий уровень железа.

В наших исследованиях у всех подопытных раков уровень кальция в гемолимфе был одинаковым (39 мг%), несмотря на различия в степени минерализации воды. Изменение минерализации воды сопровождалось двукратным ростом концентрации цинка в эндолимфе: с 32 мг% у контрольных раков до 64–71 мг% у раков опытных групп. Это явление трудно комментировать, однако применительно к позвоночным животным известен антагонизм в отношениях кальция и цинка в метаболических реакциях. Они, в частности, конкурируют за транспортные средства.

Нельзя оставить без комментария и факт резкого падения концентрации железа в эндолимфе раков при попадании животных в воду с пониженной и повышенной жесткостью. В первом случае железо вообще не обнаруживалось прибором, а у раков 2-й группы уровень железа упал более чем в два раза (25,3 против 60,7 мкг% в контрольной группе). Предположительно, это явление связано со сменой карапакса, в хитиновых структурах которого содержание железа сравнительно велико. Провокация линьки изменением минерализации воды стимулирует синтез новых хитиновых структур, что сопровождается повышенной потребностью в железе. Вероятно, железо эндолимфы выполняет функцию депо элемента.

Вероятность развития событий по этому сценарию косвенно подтверждает и другое наблюдение. Содержание общего белка в гемолимфе раков опытных групп ниже, чем у контрольных раков. В гемолимфе широкопалых речных раков, помещенных в воду с высоким уровнем кальция, произошло значительное снижение уровня альбуминов по сравнению с раками, содержащимися в воде со средней и пониженной жесткостью. Так, у раков контрольной группы концентрация альбуминов оказалась на 30% выше, чем у раков 1-й опытной группы, и на 70% выше, чем у раков 2-й опытной группы (см. табл. 2). Альбумины в организме животных выполняют ряд специфических функций (транспортную, иммунную, онкотическую, др.). Однако у пойкилотермных животных с наличием сезонной спячки или резким снижением метаболизма без явления спячки в зимнее время альбумины играют роль резерва пластического и энергетического материала. Например, у сеголетков карпа за период

зимовки уровень альбуминов может понизиться до нуля. И запас этих компонентов крови в значительной мере предопределяет успех зимовки рыбы. Мы считаем, что у раков альбумины эндолимфы, так же как и у рыб, несут функцию запасных белков, которые используются животными в процессе линьки и ограниченном экзогенном поступлении белков.

Эндолимфа представляет собой неоднородную жидкую фазу, которая формируется в результате смешивания жидкости, заполняющей полости рака и лимфы. Кроме того, сюда же примешиваются и клеточные структуры — аналоги клеток крови. Клеточные структуры эндолимфы раков представляют собой полиморфные образования со всеми классическими структурами и органеллами. Они имеют мембрану, протоплазму, ядро. К сожалению, происхождение отдельных форм клеточных образований эндолимфы остается неизученным. Отсюда предлагается несколько систем классификации клеток эндолимфы и разная трактовка функционального предназначения отдельных групп клеток. Авторы данной работы придерживаются классификации гемоцитов, которую предложил в свое время К. Shoderhall с сотр. [14] с некоторыми изменениями [9].

Как следует из таблицы 3, в эндолимфе широкопалых раков вида *Astacus astacus* присутствуют клетки четырех видов. При их микроскопировании и дифференцировке принимают во внимание две особенности — характер грануляции протоплазмы и размер клеток (рис. 2).

Т а б л и ц а 3

Гемоцитарная формула гемолимфы *Astacus astacus*, %

Показатель	Контрольная группа, М±m	1-я группа, М±m	Cv	2-я группа, М±m	Cv	P
Агранулоциты	40,0±3,98	22,7±5,19	39,7	34,8±6,72	33,5	>0,05
Полугранулоциты	24,2±5,72	23,7±2,72	19,9	24,5±3,61	25,5	>0,05
Гранулоциты	27,8±2,82	36,7±4,01	18,9	37,8±4,77	21,9	>0,05
Прозрачные клетки	8,0±1,90	20,3±5,86	49,9	3,0±1,25	72,0	<0,05

Размер клеток существенно увеличивается в ряду от агранулоцитов к прозрачным клеткам. Агранулоциты отличаются от прозрачных клеток не только меньшими размерами, но и тем, что их ядро заполнено зернистым хроматином, в то время как прозрачные клетки значительно крупнее и действительно не имеют грануляции протоплазмы и под микроскопом выглядят прозрачными. Полугранулоциты помимо размеров и формы отличаются специфическим характером грануляции ядерного вещества и цитоплазмы.

Исследования показали, что процентное соотношение гемоцитов в гемолимфе речных широкопалых раков (гемоцитарная формула) является переменным фактором и выступает адаптационным признаком при изменении жесткости водной среды. Общее количество гемоцитов в гемолимфе широкопалых речных раков в нормальных условиях содержания оценивается величиной 950–1200 клеток в 1 мкл. У раков в воде со средней жесткостью (контрольная группа) наибольший удельный вес в сумме гемоцитов приходился на мелкие агранулярные клетки (40%). У раков в мягкой воде (1-я группа) гемоцитарная формула отличалась от таковой раков контрольной группы. В частности, доля агранулоцитов сократилась практически вдвое (22,7%). При этом удельный вес полугранулоцитов не изменился, но увеличилось до 36,7%

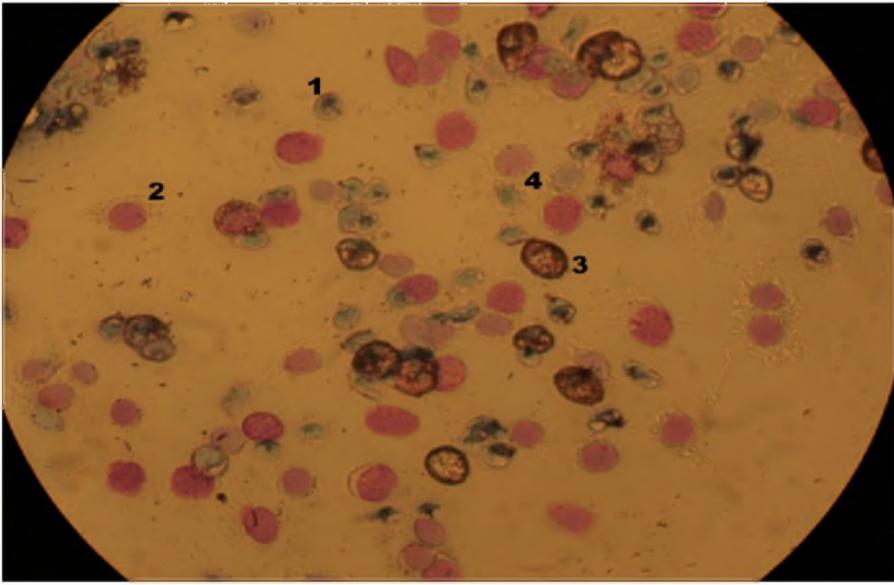


Рис. 2. Гемоциты речного рака, окрашенные по методу Паппенгейма, при световом микроскопировании: 1 — агранулоцит, 2 — полугранулоцит, 3 — гранулоцит, 4 — прозрачная клетка

относительное количество гранулоцитов и более чем двукратно возросла доля прозрачных клеток (20,3% против 8,0% в контроле).

Такая же направленность изменений гемоцитарной формулы обнаружена и у раков при их содержании в воде с высокой жесткостью. Комментировать изменения гемоцитарной формулы сложно, поскольку функции отдельных классов гемоцитов остаются до конца не изученными и к тому же велик коэффициент вариабельности признака внутри совокупности. Известно, что все виды гемоцитов обладают фагоцитозом [9, 14]. Однако смещение гемоцитарного индекса в сторону типично гранулярных форм под влиянием стресс-фактора дает основание полагать, что фагоцитарная активность разных классов гемоцитов неодинакова. Напрашивается аналогия с позвоночными. У высших животных наиболее активны в части фагоцитоза гранулярные нейтрофилы и агранулярные моноциты, доля которых при неблагоприятных условиях увеличивается. Вероятно, у раков в стрессовых ситуациях происходят адаптационные перестройки иммунной системы и возрастает активность мигрирующих фагоцитов — типичных гранулоцитов и прозрачных клеток.

Заключение

Таким образом, организм речных раков воспринимает изменения уровня минерализации водной среды как опасный стресс-фактор. Речные раки вида *Astacus astacus* обладают несовершенным механизмом адаптации к изменению минерализации воды и являются одними из наиболее уязвимых гидробионтов рек и прудов европейской части России. Поэтому при выборе объекта для искусственного разведения следует учитывать эту особенность широкопалого рака. С другой стороны, этот вид выступает очень чувствительным индикатором качества воды внутренних водоемов. Присутствие широкопалого речного рака *Astacus astacus* в составе биоценозов наших внутренних водоемов является своеобразной гарантией высокой чистоты водоема и видового разнообразия биотопа.

Библиографический список

1. *Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. Л.: Химия, 1985.
2. *Булгаков Н.Г.* Экологически допустимые уровни абиотических факторов в водоемах России и сопредельных стран. Зависимость от географических и климатических особенностей // *Водные ресурсы*, 2004. Т. 31. № 2. С. 193–198.
3. *Воробьев Д.В., Теплый Д.Л.* Зависимость биогенной миграции цинка в организме белого амура от различного содержания кальция в воде // *Естественные науки. Журнал фундаментальных и прикладных исследований №1 (18)*. Астрахань, 2007. С. 37–38.
4. *Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т.* Минеральный обмен сельскохозяйственных животных. М.: Россельхозиздат, 1976.
5. *Грушко Я.М.* Вредные органические соединения в промышленных сточных водах // *Химия*. Л.: 1982.
6. *Иванов А.А.* Физиология рыб. М.: Мир, 2003.
7. *Маянский А.Н., Маянский Д.Н.* Очерки о нейтрофиле и макрофаге. Новосибирск: Наука, 1989.
8. *Орлов Д.С.* Микроэлементы в почвах и живых организмах // *Соровский образовательный журнал*, 1998. № 1. С. 61–68.
9. *Пронина Г.И., Корягина Н.Ю.* Некоторые видовые особенности состава форменных элементов крови гидробионтов. // *Стратегия развития аквакультуры в современных условиях*. Минск: РУП «Институт рыбного хозяйства», 2008. Вып. 24. С. 465–470.
10. Рекомендации по определению токсичности для рыб водной среды // Департамент ветеринарии Минсельхоза и продовольствия РФ. М., 1999.
11. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семеновой. Л.: Гидрометеиздат, 1977.
12. *Jensen Frank B, Malte Hans.* Acid-base and electrolyte regulation, and haemolymph gas transport in crayfish *Astacus astacus* exposed to soft, acid water with and without aluminium // *Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic and Environmental Physiology*, 1990. V. 160. № 5. P. 483–490.
13. *Sauvant M.P., Pepin D.* Drinking water and cardiovascular disease // *Food Chem. Toxicol.* 2002. № 40(10). P. 1311–1325.
14. *Shoderhall K., Johansson M.W., Smith V.J.* Freshwater crayfish: Biology, management and exploitation (ed. Holdich D.M. & Lowery R.S.). Croom Helm: London-Sydney, 1988.

Рецензент — д. б. н. А.Г. Маннапов

SUMMARY

European river crayfish homeostasis indices have been studied, crayfish being potential objects of aquaculture. Both cellular and biochemical analyses are carried out. It has been discovered that crayfish of *Astacus astacus* species are characterized by both great metabolic variability and susceptibility to their habitat mineralization level. This fact accounts for a failure in the attempt to introduce this species into aquaculture.

Key words: river crayfish, endolymph, water mineralization, adaptation.

Иванов Алексей Алексеевич — д.б.н. Эл. почта: ayvanov@timacad.ru

Корягина Наталья Юрьевна — аспирант каф. морфологии и физиологии животных
РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Пронина Галина Иозеповна — соискатель каф. морфологии и физиологии животных
РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Ревякин Артем Олегович — ст. науч. сотр. ГУ НЦ биомедицинских технологий
РАМН.