

Г. Х. Ильясова, А. В. Котельников, Э. И. Мелякина

**СЕЗОННЫЕ И ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА  
ОРГАНИЗМА ДЛИННОПАЛОГО РЕЧНОГО РАКА  
(*PONTASTACUS LEPTODACTYLUS*)**

Изучен микроэлементный состав речного длиннопалого рака (*Pontastacus leptodactylus*) дельты р. Волги в зависимости от сезона года и пола организма. Определены специфические особенности в степени утилизации различными органами речного длиннопалого рака таких эссенциальных элементов, как цинк, медь, марганец и кобальт и условно эссенциальных – никеля и свинца. Установлено, что медь для организма речных раков является элементом сильного накопления, особенно для жабр, печени, мышц и панциря. На втором месте по аккумуляции в организме речного рака находится цинк. Никель, марганец, свинец и кобальт имеют коэффициент биологического поглощения меньше единицы. Сезонные особенности распределения микроэлементов в организме речного рака заключаются в том, что для организма рака характерна повышенная утилизирующая способность по отношению к меди и марганцу в летний период, по отношению к цинку и никелю – зимой, кобальту – осенью. Установлено, что по всем изученным элементам, кроме меди, самки отличаются более выраженной концентрирующей способностью по сравнению с самцами.

**Ключевые слова:** длиннопалый рак, микроэлементы.

**Введение**

Речные раки относятся к группе самых крупных беспозвоночных животных, обитающих в разных пресноводных водоёмах. В настоящее время одна из основных опасностей, грозящих длиннопалому раку (*Pontastacus leptodactylus*), это загрязнение водоёмов. Раки весьма чувствительны к состоянию воды, несмотря на свою высокую экологическую пластичность, которая определяется в том числе и их адаптивными возможностями к геохимическому фону среды обитания.

Успешное существование популяций обеспечивается относительным постоянством среды обитания, которое вместе с постоянством внутренней среды организма обеспечивает гомеостаз биоценозов и биосферы в целом [1]. Поддержание гомеостаза происходит через организмы, которые, участвуя в биогеохимических циклах, поддерживают динамическое постоянство среды обитания [2].

Одним из компонентов среды, которые оказывают существенное влияние на биоту, являются микроэлементы – химические элементы, содержащиеся в организмах в низких концентрациях. Их подразделяют по биологическим функциям на необходимые (жизненно важные) – Cu, Zn, Mn, Co, Cr, Mo, Se, J, B; полезные – As, Br, F, Li, Ni, Si, V; пассивные и токсичные – Al, Ba, Bi, Cd, Pb, Ta, Hg и др. [3]. Кроме того, их можно разделить на эссенциальные – Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Cr, Mo, Se, J и условно эссенциальные – As, Br, Li, Ni, V, Cd, Pb [4].

Микроэлементы в биотических дозах и концентрациях необходимы для нормального функционирования живых организмов, они широко распространены в окружающей среде. Распространение металлов в компонентах биогеоценозов определяется не только геохимией среды, но и огромной ролью живых организмов, которые утилизируют металлы, делая их, таким образом, более биодоступными и вовлекая их тем самым в трофический круговорот [5]. В течение эволюции биосферы образовались устойчивые фоновые уровни содержания химических элементов в абиотических и биотических компонентах среды, к которым живые организмы более или менее успешно адаптированы. Жизнь эволюционировала и по пути приспособления к геохимическим факторам среды, что позволило организмам отобрать из среды тот комплекс веществ (элементов), который создает структурную и динамичную основу жизни.

Важным при определении потребности гидробионтов в микроэлементах является необходимость изучения их содержания в биогеохимических зонах, поскольку при недостатке или избытке микроэлементов в окружающей среде могут происходить не только количественные изменения промежуточного обмена, но и глубокие, качественные нарушения, выражающиеся в дисфункции в процессах метаболизма. При этом возникают эндемические заболевания, вызы-

ваемые недостатком или избытком микроэлементов. В [2] предложены биогеохимические критерии оценки экологического состояния территорий, которые базируются на концепции гомеостаза (равновесия) биогеоценозов и пороговых концентрациях химических элементов, отражающих состояние относительного постоянства внутренних и внешних сред организма. Знание основ геохимической экологии животных позволяет реконструировать локальные биогеохимические циклы химических элементов.

Целью наших исследований являлось изучение микроэлементного состава организма речных раков в зависимости от пола и сезона года.

### Материалы и методы исследований

Материалом для исследования послужили образцы проб органов и тканей особей длиннопалого речного рака (*Pontastacus leptodactylus*), отобранных в естественных условиях. Отбор проб для анализа проводили в р. Бузан в ее северо-западной (село Староуруссовка) и северо-восточной частях (село Верхний Бузан). Сбор проб осуществляли в весенний (апрель), летний (июль), осенний (октябрь) и зимний (декабрь) периоды года. У пойманных речных раков содержание микроэлементов (металлов) определяли в следующих тканях и органах: жабры, печень, желудок, мышцы, клешни, ходильные ноги, хвостовой плавник, панцирь. Методом атомно-абсорбционного анализа определяли содержание следующих элементов: Zn, Cu, Ni, Pb, Mn, Co. Результаты анализа выражали в мг/кг сухой массы.

Результаты исследований были обработаны статистически с помощью программного пакета Microsoft Excel 2007 и проанализированы с использованием критерия Стьюдента [6, 7].

### Результаты исследования и их обсуждение

Сведения о среднем содержании металлов в различных органах и тканях самцов и самок длиннопалого рака представлены в табл. 1.

Таблица 1

Концентрация металлов в организме длиннопалого речного рака дельты р. Волги, мг/кг сухого вещества

Органы	Химические элементы					
	Zn	Cu	Ni	Pb	Mn	Co
Мышцы клешни	377,8 ± 3,9	49,0 ± 2,1	3,2 ± 0,2	16,6 ± 2,3	1,9 ± 0,4	2,8 ± 0,3
	402,6 ± 15,2	40,9 ± 2,4	5,6 ± 0,2	23,6 ± 1,5	3,0 ± 0,04	8,7 ± 0,9
Ходильные ноги	25,9 ± 1,7	38,9 ± 2,5	10,4 ± 0,9	21,9 ± 1,1	17,3 ± 1,7	16,9 ± 1,5
	8,9 ± 1,6	31,0 ± 0,9	10,9 ± 1,3	22,0 ± 0,5	13,9 ± 1,8	14,6 ± 1,2
Хвостовой плавник	74,2 ± 2,3	37,3 ± 1,5	9,2 ± 1,9	16,6 ± 0,9	26,4 ± 1,8	8,6 ± 0,1
	96,0 ± 1,6	35,5 ± 1,6	6,0 ± 0,8	14,6 ± 0,7	21,5 ± 0,9	6,7 ± 0,2
Мышцы брюшка	113,3 ± 3,1	39,5 ± 1,6	2,2 ± 0,9	10,2 ± 1,3	3,0 ± 0,1	4,9 ± 0,1
	129,1 ± 4,1	3,2 ± 0,8	0,9 ± 0,1	13,9 ± 0,2	Следы	2,0 ± 0,03
Жабры	141,5 ± 1,8	149,6 ± 4,7	6,5 ± 0,3	13,9 ± 1,6	17,8 ± 1,6	3,8 ± 0,1
	159,8 ± 3,3	136,0 ± 5,1	5,9 ± 0,4	16,3 ± 0,9	27,9 ± 2,1	7,2 ± 0,09
Панцирь	56,3 ± 2,8	16,5 ± 0,9	11,3 ± 2,5	20,9 ± 1,1	11,9 ± 0,2	8,2 ± 0,6
	58,3 ± 2,9	15,9 ± 1,0	18,5 ± 1,7	23,4 ± 1,9	14,7 ± 1,3	16,8 ± 1,3
Желудок	173,9 ± 2,5	59,9 ± 3,7	4,5 ± 1,8	14,4 ± 1,1	49,2 ± 1,6	10,7 ± 1,5
	123,5 ± 4,0	49,5 ± 3,1	1,0 ± 0,03	8,3 ± 0,5	39,1 ± 1,2	9,1 ± 0,5
Печень	83,1 ± 2,3	60,9 ± 3,9	4,1 ± 0,4	6,9 ± 0,3	8,3 ± 0,9	3,6 ± 0,1
	97,5 ± 2,9	76,2 ± 4,2	3,9 ± 0,04	3,9 ± 0,09	21,4 ± 1,5	7,9 ± 0,1

\* Верхняя строка в ячейке – самцы, нижняя – самки.

По степени уменьшения средних концентраций в организме речного рака микроэлементы располагаются следующим образом: цинк > медь > марганец > свинец > кобальт > никель.

Во всех исследованных органах и тканях преобладают цинк и медь, а минимальными значениями характеризуются никель и кобальт, что можно объяснить интенсивной аккумуляцией биофильных элементов, которые принимают активное участие в физиологических процессах (кровообразование, дыхание, депонирование, выделение и др.). Панцирь и ходильные ноги (хитиносодержащие структуры) речных раков отличаются от других органов тем, что изученные микроэлементы утилизируются в них либо в максимальных (никель, свинец и кобальт), либо

в минимальных количествах (цинк и медь). Панцирь является концентратором свинца и кобальта. Возникает вопрос об источнике микроэлементов, поступающих в панцирь после линьки. Так как технически в естественных условиях невозможно определить, сколько времени прошло после очередной смены панциря, но известно, что старый панцирь съедается особями, то, вероятно, источником микроэлементов для нового панциря является прежде всего перераспределение микроэлементов в организме речного рака с активным вовлечением при этом микроэлементов, поступающих с пищей.

Установлено, что по отношению ко всем изученным элементам, кроме меди, самки отличаются более высокой концентрирующей способностью; для меди такая закономерность была отмечена только в печени самок.

В связи с сезонным изменением уровня метаболизма был исследован элементный состав органов самцов и самок речного рака в различные сезоны года на примере таких наиболее жизненно важных органов, как печень, жабры, мышцы. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Концентрация металлов в организме длиннопалого речного рака дельты р. Волги в разные сезоны года, мг/кг сухого вещества\***

Органы	Химические элементы					
	Zn	Cu	Ni	Pb	Mn	Co
Зимний период						
Мышцы клешни	351,8 ± 2,3	44,5 ± 2,1	3,0 ± 1,2	14,1 ± 2,1	1,3 ± 0,6	2,1 ± 0,3
	399,1 ± 9,2	38,1 ± 2,2	3,1 ± 0,6	21,2 ± 1,5	2,2 ± 1,4	5,1 ± 0,9
Мышцы брюшка	109,3 ± 2,1	34,8 ± 1,6	1,1 ± 0,8	7,1 ± 0,5	2,7 ± 1,1	3,1 ± 0,7
	111,1 ± 2,1	2,9 ± 0,6	0,5 ± 0,1	11,5 ± 1,1	0	1,8 ± 0,03
Жабры	120,5 ± 1,8	130,6 ± 2,7	4,5 ± 0,3	12,5 ± 1,6	11,8 ± 1,6	2,6 ± 0,5
	137,8 ± 3,5	112,5 ± 3,1	5,1 ± 0,4	15,0 ± 1,9	21,0 ± 2,1	5,2 ± 0,1
Печень	81,1 ± 2,1	59,5 ± 2,9	1,8 ± 0,4	4,1 ± 0,3	4,3 ± 0,9	2,5 ± 0,9
	86,5 ± 2,4	75,0 ± 1,2	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1	18,4 ± 1,2	5,9 ± 0,1
Весенний период						
Мышцы клешни	377,8 ± 3,9	49,0 ± 2,1	3,2 ± 0,2	16,6 ± 2,3	1,9 ± 0,4	2,8 ± 0,3
	402,6 ± 15,2	40,9 ± 2,4	5,6 ± 0,2	23,6 ± 1,5	3,0 ± 0,04	8,7 ± 0,9
Мышцы брюшка	113,3 ± 3,1	39,5 ± 1,6	2,2 ± 0,9	10,2 ± 1,3	3,0 ± 0,1	4,9 ± 0,1
	129,1 ± 4,1	3,2 ± 0,8	0,9 ± 0,1	13,9 ± 0,2	0	2,0 ± 0,03
Жабры	141,5 ± 1,8	149,6 ± 4,7	6,5 ± 0,3	13,9 ± 1,6	17,8 ± 1,6	3,8 ± 0,1
	159,8 ± 3,3	136,0 ± 5,1	5,9 ± 0,4	16,3 ± 0,9	27,9 ± 2,1	7,2 ± 0,09
Печень	83,1 ± 2,3	60,9 ± 3,9	4,1 ± 0,4	6,9 ± 0,3	8,3 ± 0,9	3,6 ± 0,1
	97,5 ± 2,9	76,2 ± 4,2	3,9 ± 0,04	3,9 ± 0,09	21,4 ± 1,5	7,9 ± 0,1
Летний период						
Мышцы клешни	402,8 ± 1,9	52,7 ± 1,1	4,2 ± 1,2	17,6 ± 1,3	2,9 ± 1,4	3,8 ± 1,3
	408,1 ± 9,2	44,2 ± 1,4	8,6 ± 2,2	23,8 ± 1,2	5,1 ± 0,4	9,7 ± 0,9
Мышцы брюшка	118,3 ± 2,1	45,5 ± 1,8	2,6 ± 1,9	11,2 ± 1,3	3,0 ± 0,3	5,9 ± 0,1
	141,1 ± 5,1	7,6 ± 0,8	4,9 ± 1,1	15,9 ± 1,2	1,5 ± 0,3	9,6 ± 0,3
Жабры	152,6 ± 3,6	156,6 ± 3,1	7,8 ± 1,3	15,9 ± 1,3	18,8 ± 1,2	7,8 ± 1,1
	176,8 ± 1,3	151,7 ± 6,1	9,9 ± 1,4	20,3 ± 0,9	31,9 ± 2,1	11,2 ± 0,
Печень	87,2 ± 1,3	67,1 ± 1,9	5,2 ± 1,4	8,9 ± 1,3	11,3 ± 0,9	6,6 ± 1,1
	101,5 ± 2,9	91,2 ± 3,2	5,9 ± 1,4	8,9 ± 1,2	26,4 ± 1,3	14,9 ± 1,4
Осенний период						
Мышцы клешни	354,8 ± 2,9	48,5 ± 2,1	3,1 ± 1,2	14,6 ± 2,1	1,5 ± 0,6	2,6 ± 1,3
	400,1 ± 11,2	40,1 ± 2,3	3,6 ± 0,6	21,6 ± 1,5	2,8 ± 0,4	5,7 ± 0,9
Мышцы брюшка	111,3 ± 2,1	35,1 ± 1,6	1,2 ± 0,8	7,2 ± 1,5	2,7 ± 1,1	3,5 ± 0,7
	121,1 ± 3,1	3,2 ± 0,6	0,9 ± 0,1	13,5 ± 1,2	0	2,0 ± 0,03
Жабры	121,5 ± 1,8	132,6 ± 3,7	4,7 ± 0,3	13,5 ± 1,6	12,8 ± 1,6	2,8 ± 0,5
	147,8 ± 3,3	138,5 ± 4,1	5,5 ± 0,4	15,3 ± 0,9	21,9 ± 2,1	6,2 ± 0,1
Печень	83,1 ± 2,3	59,9 ± 3,9	3,8 ± 1,4	4,9 ± 0,3	5,3 ± 0,9	2,6 ± 0,9
	96,5 ± 2,4	75,5 ± 0,2	1,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	20,4 ± 1,2	6,9 ± 0,1

\* Верхняя строка в ячейке – самцы, нижняя – самки.

В зимние месяцы металлы по содержанию в организме длиннопалого речного рака можно расположить в следующем порядке по убыванию:

**Zn:** мышцы клешни > жабры > мышцы брюшка > печень;

**Cu:** жабры > печень > мышцы клешни > мышцы брюшка;

**Ni:** жабры > мышцы клешни > печень > мышцы брюшка;

**Pb:** мышцы клешни > жабры > мышцы брюшка > печень;

**Mn:** жабры > печень > мышцы клешни > мышцы брюшка;

**Co:** печень > жабры > мышцы клешни > мышцы брюшка.

Переход раков от зимнего неактивного существования к весеннему периоду связан с активацией метаболизма. Происходит активация ферментных систем, в состав многих из них в качестве кофермента входят металлы, например цинк и медь. К весне истощаются накопленные осенью резервы, животные начинают питаться, начинается период размножения. Всё это находит своё отражение и в изменении микроэлементного спектра организма. Переход речных раков к весеннему периоду жизни сопровождается рядом изменений в микроэлементном составе органов и тканей.

Очень высокими значениями цинка (до 402 мг/кг) характеризуются мышцы клешни, как и в зимний период, затем по убывающей располагаются жабры, мышцы брюшка и печень. Минимальные концентрации цинка обнаружены нами в ходильных ногах и панцире, т. е. в хитино-содержащих частях организма. Концентрация меди, так же как и зимой, характеризуется плавным снижением в ряду жабры > мышцы. Распределение никеля по органам и тканям в весенний период незначительно отличается от распределения в зимний период. Свинец больше всего концентрируется в мышцах клешни и в жабрах. Интересно отметить, что в мышечных тканях за исследуемый период (зима – весна) концентрация свинца достоверно увеличилась. Марганец больше всего утилизируется жабрами и печенью, его минимум содержится в мышцах. Более высокими концентрациями кобальта в весенний период отличаются печень, жабры и мышцы клешни, наименьшими – мышцы брюшка.

В весенние месяцы металлы в основных органах речного рака по степени убывания концентрации располагаются абсолютно аналогично зимнему периоду.

Летом речные раки меняют спектр питания и от преимущественно животной пищи переходят к растительной, что не может не отразиться на химическом составе органов и тканей данного гидробионта. Согласно данным табл. 2, цинк летом в большей степени утилизируется мышечной тканью – мышцами клешни, мышцами брюшка и жабрами. В минимальных количествах этот элемент в летний период был обнаружен в печени.

По способности концентрировать медь, так же как зимой и весной, выделяются жабры. Летом меди в жабрах содержалось примерно в 1,5 раза больше, чем зимой. По всей видимости, летом процессы поступления меди в организм рака из окружающей среды активизируются, т. к. потребность в меди летом значительно возрастает в связи с её участием в дыхании и процессах метаболизма. Многие исследователи отдают первое место осмотическим процессам как основным при поступлении ионов металлов в организм гидробионтов [2], поэтому полагаем, что перераспределение меди в организме рака происходит именно после аккумуляции этого металла из воды жабрами.

Следующим органом, после жабр, по количеству аккумуляции меди является гепатопанкреас: содержание меди летом было в полтора раза выше, чем зимой и весной. Гепатопанкреас раков – удивительный орган. Занимая значительную часть пространства под карапаксом, он выделяется, по сравнению с другими внутренними органами, не только своими размерами. Гепатопанкреас раков не имеет аналогов среди органов позвоночных, поскольку он одновременно выполняет функции нескольких органов. В гепатопанкреасе происходят синтез и выделение пищеварительных ферментов, резорбция пищи, поглощение веществ из переваренной пищи. Все эти процессы происходят с участием ферментов, в частности тех, которые катализируют реакции гидроксирования и окисления. Ферменты, ускоряющие реакции окисления – оксидазы – являются довольно многочисленными и содержат ионы меди в различных состояниях. Активное протекание всех этих процессов требует повышенного количества меди. Минимальными значениями меди характеризуются мышцы.

Максимум никеля, а также свинца, марганца и кобальта содержат жабры.

Осенью наблюдается снижение концентрации цинка в мышцах клешни по сравнению с концентрациями зимой и весной. По своим значениям она приближается к показателям зимнего периода, но количество цинка в мышцах клешни все равно остается максимальным по сравнению с другими исследуемыми органами и тканями речного рака. На втором месте по количеству этого элемента находятся также мышцы, но брюшка. Повышенной утилизирующей способностью по отношению к цинку обладают также жабры.

Медь больше всего концентрируется в жабрах и печени. Концентрация этого элемента снижается по сравнению с летним периодом и становится сопоставимой с таковой в зимний и весенние периоды, что, вероятно, связано со снижением уровня метаболизма осенью, т. к. именно эти органы играют ведущую роль в обмене меди в организме. Высокое содержание меди в гепатопанкреасе позволяет считать последний физиологическим депо для этого микроэлемента. Постоянный уровень меди поддерживается за счет резервов в гепатопанкреасе и других органах.

В осенний период в организме речного рака несколько изменился количественный микроэлементный состав. Так, максимальная концентрация микроэлементов, как и летом, отмечена нами в жабрах, а минимальная – в мышцах брюшка.

Из полученных данных следует, что прослеживается определенная тенденция к уменьшению содержания цинка, меди, марганца и увеличению свинца, никеля и кобальта в исследуемом объекте за изучаемый период времени.

Наиболее выраженная сезонная динамика микроэлементного состава организма речного рака характерна для таких элементов, как медь, никель и свинец.

Концентрация меди в изученных органах максимальна летом, затем снижается в осенне-зимний и весенний периоды. Эта тенденция особенно выражена в жабрах. Как уже отмечалось выше, это, вероятно, связано с медьсодержащим гемоцианином и сезонным увеличением уровня метаболизма в летний период.

Динамика никеля в организме речного рака имеет следующие тенденции: максимальные концентрации этого элемента обнаружены в зимний период (кроме жабр), затем происходит резкое снижение количества никеля и в летне-осенний период его значения являются следовыми.

Сезонная динамика свинца характеризуется его минимальными количествами зимой, затем резким увеличением к весне и снижением в летне-осенний период.

Для цинка в зимний период максимальные значения характерны в гепатопанкреасе. Очевидно, к зиме в железе происходит накопление цинка, который затем, с наступлением тёплого сезона, перераспределяется в другие органы. Цинк принимает участие во множестве важных процессов, связанных с ростом, который у раков происходит в тёплое время, с развитием и созреванием гонад и поддержанием репродуктивной функции. Ещё одной важной функцией цинка является его участие в процессах регенерации и заживления ран, что весьма актуально для раков, которые становятся весьма уязвимыми после линьки. Кроме того, для раков характерна аутономия – отбрасывание конечностей при опасности, для регенерации которых необходим в том числе и цинк.

Весной цинк перераспределяется в мышцы клешни и, возможно, и в жаберы, хотя повышенные концентрации цинка весной в жабрах может быть связано также с активизировавшимся осмотическим поступлением цинка в организм рака из воды.

Летний период жизни речного рака сопровождается достоверно повышенной утилизацией марганца мышцами клешни, жабрами и печенью. Такое перераспределение микроэлементов именно в летний период связано с особенностями физиологических процессов, вероятным усилением процессов метаболизма, в которых принимают активное участие именно такие эссенциальные элементы, как марганец, связанные с функционированием органов дыхания и основного органа метаболизма – гепатопанкреаса.

Осенью начинается повышенная утилизация кобальта мышцами клешни и жабрами.

Содержание меди в мышцах самцов в течение всего года значительно превышало аналогичный показатель у самок. Мы связываем эти различия с более активным образом жизни самцов, особенно в период размножения. В печени, наоборот, медь в большем количестве содержится у самок, что вполне объяснимо, если исходить из полифункциональности меди в организме и огромной роли, которую играет гепатопанкреас при созревании женских половых клеток. Известно, что яйца речного рака содержат большое количество желтка и других веществ. Синтез многих из них происходит в печени, требуя обильного снабжения кислородом (с гемоцианином), при участии многих ферментных систем.

Как у самок, так и у самцов концентратором цинка являются мышцы клешни. Наибольшее количество меди было отмечено у раков обоих полов в жабрах, кроме того жаберы в повышенных количествах утилизируют марганец и цинк. Известно, что жаберы являются органом, непосредственно контактирующим с внешней средой и выполняющим экскреторную, кроветвор-

ную и обменную функции [8]. Эти же элементы содержатся в максимальных концентрациях и в среде обитания раков – грунте и воде.

Интенсивность поглощения микроэлементов отражает такой показатель, как коэффициент биологического поглощения (КБП), и химические элементы, для которых КБП больше единицы, относятся к группе накапливающихся элементов. В результате исследований было установлено, что медь для организма речных раков является элементом сильного накопления (жабры, печень, мышцы, панцирь), т. е. речные раки являются организмом-концентратором меди, причем в жабрах этот показатель от весны к осени повышается от 4 до 56, а в мышцах и панцире снижается. Таким образом, несмотря на недостаток меди в биотопе речного рака, его организм концентрирует этот элемент в значительных количествах. Вторым, и в значительно меньшей степени накапливающимся элементом является цинк, КБП которого составляет от 1,6 до 8,2. Никель и марганец имеют КБП меньше единицы, и практически аналогичная динамика КБП обнаружена для свинца и кобальта.

Во всех рассмотренных органах и тканях речного рака преобладает цинк, затем следуют медь и марганец, а минимальные концентрации характерны для никеля, кобальта и свинца, что связано с интенсивной аккумуляцией биофильных элементов, которые принимают активное участие в физиологических процессах (выделение, депонирование, дыхание, кроветворение и др.).

Установленные сезонные изменения содержания микроэлементов в составе органов и тканей речного рака могут быть следствием нескольких причин. Во-первых, вариабельность содержания отдельных элементов может отражать физиологические изменения в организме речного рака (рост, размножение, изменение спектра питания, линька). Во-вторых, сезонные изменения валового содержания элементов могут зависеть от химического состава воды и грунтов в течение года.

### **Заключение**

Таким образом, по уровню содержания исследуемые металлы можно условно разделить на две группы. В первую входят цинк и медь – их концентрации в некоторых органах измеряются десятками и сотнями мг/кг сухого вещества; во вторую входят свинец, никель, кобальт и марганец – содержание этих элементов в организме измеряется в основном единицами и в некоторых случаях – десятками мг/кг сухого вещества. Такое распределение металлов предопределено эволюционно, а также связано с геохимическими условиями существования.

По результатам исследования установлено, что эссенциальные элементы утилизируются в основном в мышцах, жабрах, желудке речного рака, кроме того, кобальт в максимальных концентрациях обнаружен в панцире. Условно эссенциальные элементы, такие как никель и свинец, имеют несколько отличную способность утилизировать данные элементы: так, никель утилизируется в основном желудком и панцирем, а свинец – панцирем и ходильными ногами. В организме речного рака выявлены следующие пары микроэлементов с аналогичным распределением по органам: медь – цинк; никель – марганец, что подтверждает известное явление синергизма между медью и цинком; никелем и марганцем. Прослеживается также определенная тенденция к уменьшению содержания цинка, меди, марганца и увеличению свинца, никеля и кобальта в исследуемом объекте за изучаемый период (от зимы к осени). Установлено, что по всем изученным элементам, кроме меди, самки отличаются более высокой концентрирующей способностью, хотя в отношении меди такая закономерность присуща печени самок.

Полученные результаты вносят вклад в оценку экологического статуса жизненно важных микроэлементов, разработку методов изучения экологического состояния биогеоценозов, понимания эволюционных процессов, происходящих в природе, нормировании токсических веществ и микроэлементов. Речные раки занимают важное место среди гидробионтов в качестве тест-объектов оценки экологического состояния водных экосистем. Степень накопления микроэлементов в их тканях и органах зависит от многих факторов, в том числе и от геохимической среды, а также от функционального состояния организма.

Результаты исследований свидетельствуют о специфичности накопления микроэлементов в разных органах речного рака. Распределение металлов в организме длиннопалого речного рака характеризуется неравномерностью и зависит от функциональных особенностей органов

и тканей, их кумулятивной активности и химических свойств микроэлемента, а также экологических особенностей речного рака и характера питания.

По всей вероятности, неоднозначность полученных нами результатов по степени концентрации элемента в организме речного рака объясняется не только биогеохимическими особенностями окружающей среды, но и физиологическими особенностями речного рака, связанными с периодом созревания половых продуктов, когда происходят не только изменения процессов накопления элементов в системе окружающая среда-организм, но и активное перераспределение элементов, накопленных в предшествующий период времени, между его различными частями и органами и тканями в организме речного рака.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальский В. В. Геохимическая среда и жизнь / В. В. Ковальский. М.: Наука, 1982. 76 с.
2. Ермаков В. В. Роль биогеохимии в развитии концепции микроэлементозов / В. В. Ермаков, Ю. В. Ковальский // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы. Материалы VIII биогеохимической школы. М.: ГЕОХИ РАН, 2013. С.6–12.
3. Ковальский В. В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии. Избр. тр. М.: Россельхозакадемия, 2009. 357 с.
4. Бгатов А. В. Биогенная классификация химических элементов / А. В. Бгатов // Философия науки. 1999. № 2. С. 23–34.
5. Вернадский В. И. Живое вещество: моногр. / В. И. Вернадский. М.: Наука. 1987. 287 с.
6. Плохинский Н. А. Биометрический анализ в биологии / Н. А. Плохинский. М.: Изд-во МГУ, 1982. 157 с.
7. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. М.: Высш. шк., 1990. 370 с.
8. Аминаева В. А. Физиология рыб / В. А. Аминаева, А. А. Яржомбек. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. 200 с.

Статья поступила в редакцию 3.10.2014

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ильясова Гульнара Хазисовна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Гидробиология и общая экология»; melyakina\_el@mail.ru.

**Котельников Андрей Вячеславович** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р биол. наук, доцент; профессор кафедры «Гидробиология и общая экология»; kotas@inbox.ru.

**Мелякина Эльвира Ивановна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук; доцент кафедры «Гидробиология и общая экология»; melyakina\_el@mail.ru.



G. K. Ilyasova, A. V. Kotelnikov, E. I. Melyakina

#### SEASONAL AND SEXUAL FEATURES OF THE TRACE ELEMENTS COMPOSITION OF THE BODY OF THE RIVER LONG-TOED CRAWFISH (*PONTASTACUS LEPTODACTYLUS*)

**Abstract.** The trace element composition of the river long-toed crawfish (*Pontastacus leptodactylus*) of the Delta of the Volga river is studied in relation to the season and sex of the organisms. The specific features in the degree of utilization of the various organs of the river long-toed crawfish of such essential elements as zinc, copper, manganese and cobalt and conditionally essential – nickel and lead are defined. It was found that the copper for the crawfish body is an element of strong accumulation, especially for gills, liver, muscle and carapace. Zinc is on the second place of the accumulation in the body of crawfish. Nickel, manganese, lead and cobalt have a coefficient

of biological absorption less than one. Seasonal features of the distribution of trace elements in the body of crawfish are characterized with increased disposal capacity in relation to copper and manganese in summer, zinc, nickel – winter and cobalt – fall. It was found that all the studied elements, except copper, are mostly concentrated in females in comparison with males.

**Key words:** long-toed crawfish, trace elements.

#### REFERENCES

1. Koval'skii V. V. *Geokhimicheskaya sreda i zhizn'* [Geochemical medium and life]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 76 p.
2. Ermakov V. V., Koval'skii Iu. V. Rol' biogeokhimii v razvitii kontseptsii mikroelementov [Role of biogeochemistry in the development of microelement concept]. *Biogeokhimiya i biokhimiya mikroelementov v usloviakh tekhnogeneza biosfery. Materialy VIII biogeokhimicheskoi shkoly*. Moscow, GEOKhI RAN, 2013. P. 6–12.
3. Koval'skii V. V. *Problemy biogeokhimii mikroelementov i geokhimicheskoi ekologii* [Problems of biogeochemistry of microelements and geochemical ecology]. *Izbrannye trudy. Otvetstvennyi redaktor, avtor vstupil'noi stat'i L. K. Ernst; sostavitel' Iu. V. Koval'skii*. Moscow, Rossel'khozakademiya, 2009. 357 p.
4. Bgatov A. V. Biogennaya klassifikatsiya khimicheskikh elementov [Biogenetic classification of chemical elements]. *Filosofiya nauki*, 1999, no. 2, pp. 23–34.
5. Vernadskii V. I. *Zhivoe veshchestvo* [Living thing]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 287 p.
6. Plokhinskii N. A. *Biometricheskii analiz v biologii* [Biometric analysis in biology]. Moscow, Izd-vo MGU, 1982. 157 p.
7. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 370 p.
8. Amineva V. A., Iarzhombek A. A. *Fiziologiya ryb* [Fish physiology]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1984. 200 p.

The article submitted to the editors 3.10.2014

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ilyasova Gulnara Khazisovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; melyakina\_el@mail.ru.

**Kotelnikov Andrey Vyacheslavovich** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Biology, Assistant Professor; Professor of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; kotas@inbox.ru.

**Melyakina Elvira Ivanovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; melyakina\_el@mail.ru.

