

УДК 597.442-146.1

## МОРФОМЕТРИЯ МЕЗОНЕФРОСА ОСЕТРОВЫХ РЫБ В МОРСКОЙ И РЕЧНОЙ ПЕРИОДЫ ЖИЗНИ

© 2008 г. И.Н. Лепилина, А.А. Романов

*Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Астрахань 414056*

Поступила в редакцию 03.09.2007 г.

Окончательный вариант получен 17.09.2007 г.

В работе представлены морфометрические характеристики нефронов осетровых рыб в морской и речной период жизни. Проведен сравнительный анализ площадей почечных телец, сосудистых клубочков, поперечных срезов канальцев и их просвета. Полученные морфометрические данные свидетельствуют о функциональной перестройке выделительной системы при миграциях осетровых в реку и море.

### ВВЕДЕНИЕ

Туловищная почка – универсальный орган кроветворения, в котором происходит дифференцировка, пролиферация и созревание клеток всех типов, в том числе и лимфоцитов. Она активно участвует в регуляции ионного состава, водно-солевого гомеостаза, выполняет секреторные функции. Это дает возможность предположить, что почка – один из основных органов иммунной системы рыб. На протяжении всего онтогенеза осетровых рыб в мезонефросе сочетается экскреторная и гемопоэтическая функции. Гистологическая и морфологическая оценка этого органа способна отразить физиологическое состояние особей.

Нефроны – структурно-функциональные единицы экскреторной части почек. Они теснейшим образом связаны с кровеносными сосудами. Из крови в канальцы нефрона фильтруются вода, продукты обмена, минеральные соли. Каждый нефрон состоит из 1) почечного тельца, 2) проксимального извитого канальца, 3) дистального извитого канальца, 4) связующего отдела, соединяющего нефрон с системой собирательных трубок. На срезах можно выделить короткий переходный (шеечный) отдел, соединяющий клубочек с проксимальным канальцем.

Цель работы состояла в сравнительном анализе строения нефронов осетровых рыб, отловленных в морской и речной периоды жизни.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом исследования служили отпрепарированные кусочки почек осетровых (белуга, осетр, севрюга, стерлядь) в количестве 71 экз. Образцы почек фиксировали в жидкости Буэна и обрабатывали по стандартной гистологической методике до заливки в парафин (Ромейс, 1954). Сагитальные срезы толщиной 3-7 мкм окрашивали гематоксилином-эозином, частично – по Маллори. Определение морфометрических параметров, характеризующих функциональное состояние почек, проводилось при помощи окуляра – микрометра на микроскопе Микромед 1, при увеличении: ок. 7, об. 20. Измерено более 100 почечных телец и канальцев у каждого вида рыб. В качестве критерия нормального диапазона изменчивости морфологических параметров мезонефроса был взят разброс показателей, определяемый средним квадратичным отклонением ( $\sigma$ ), нижняя граница которого определяется как  $M_{cp} - \sigma$ , верхняя –  $M_{cp} + \sigma$  (Янин, 1998).

Материалы обработаны статистически с помощью пакета программ Microsoft Excel. Приведены средние значения величин, среднеквадратичное отклонение и стандартная ошибка.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Особенность мезонефроса состоит в том, что в первичной почке в предличиночный и мальковый периоды происходит формирование новых нефронов в каудальной части. В каждый момент существования мезонефрос состоит из определенного количества новообразующихся, функционирующих, деградирующих структурно-функциональных единиц. Регрессирующие структуры в момент закладки и на начальных этапах развития осетровых рыб отсутствуют. Они появляются на определенном этапе, который в большей мере связан с возрастом рыбы или патологическими нарушениями, происходящими в ее организме. У предличинок дифференцированные функционирующие мезонефроны занимают центральное положение. Каудальнее располагаются новообразующиеся мезонефроны (тельца, каналы), имеющие структурные и морфометрические различия. В пределах Вольфова тела существует краниокаудальная направленность морфогенетических процессов. Направленность морфогенеза определяется в основном Вольфовым протоком, оказывающим выраженное индуктивное воздействие на промежуточную мезодерму (Wenz et al., 1992).

Средние морфометрические характеристики являются величинами, характеризующими структурно-функциональный статус органа, отражающий баланс морфометрических характеристик мезонефронов в определенный срок развития.

На основе разных стадий развития и возраста осетровых рыб выделены этапы жизненного цикла Вольфова тела.

Во взрослом состоянии у рыб размеры площадей сосудистых клубочков и канальцев во многом зависят от функционального состояния, среды обитания, сезона года, возраста рыб. Чтобы исключить сезонную изменчивость, возрастные особенности морфометрических характеристик использовали только особей, отловленных в летний период жизни возрастной группы 8-14 лет.

У взрослых особей по сравнению с мальковым периодом прирост площади почечного тельца, сосудистого клубочка, мочевого пространства в морской период жизни составил для белуги – 44,56%; 76,25; 1,61%, осетра – 100,56%; 161,93; 23,62%, севрюги – 132,72%; 211,80; 12,16%, стерляди – 110,37%; 174,43; 11,47% соответственно. Наиболее интенсивен прирост сосудистого клубочка. Увеличение доли сосудистого клубочка можно рассматривать как признак увеличения объемов ультрафильтрации, функциональной активности Вольфова тела. Снижение значений параметров мочевого пространства носит относительный характер и связано с увеличением размеров сосудистых клубочков.

Во взрослом состоянии у рыб в мезонефросе величины площадей телец характеризуются количественной разнородностью и значительной «шириной» интервала. Для белуги интервал площади почечных телец колебался от 4 825,05 до 28 457,95 мкм<sup>2</sup>, осетра – 4 160,37-30 156,56 мкм<sup>2</sup>, севрюги – 7 976,10-61 544,00 мкм<sup>2</sup>, стерляди – 5 538,96-17 946,23 мкм<sup>2</sup>. Наибольшая средняя площадь почечного тельца и сосудистого клубочка отмечается у севрюги и составляет 22 424,26, 18 143,60 мкм<sup>2</sup> соответственно.

Минимальные значения выявлены у белуги – 10 618,95, 15 134,55 мкм<sup>2</sup>. Следовательно, размеры рыбы не являются определяющими для значений морфометрических показателей компонентов мезонефроса.

В речной период, при миграции осетровых к местам нереста, морфометрические характеристики увеличиваются, вследствие смены соленой воды на пресную и усиления функционирования органа. Средний прирост в данный момент времени площади почечного тельца, сосудистого клубочка, мочевого пространства составил для осетра – 3 880,45 мкм<sup>2</sup>; 3 696,69; 183,76 мкм<sup>2</sup>, севрюги – 9 112,64 мкм<sup>2</sup>; 7 631,90; 1 480,74 мкм<sup>2</sup>, стерляди – 2 813,09 мкм<sup>2</sup>; 2 677,90; 135,19 мкм<sup>2</sup> соответственно.

Относительные показатели площади клубочка и мочевого пространства в море варьировали в зависимости от вида: белуга – 70,16; 29,84%; осетр – 72,65; 27,35%; севрюги – 80,91; 19,09%, стерляди – 79,17; 20,83% соответственно (табл. 1).

**Таблица 1.** Относительные показатели элементов мезонефральных телец осетровых рыб из морской и пресной воды, %.

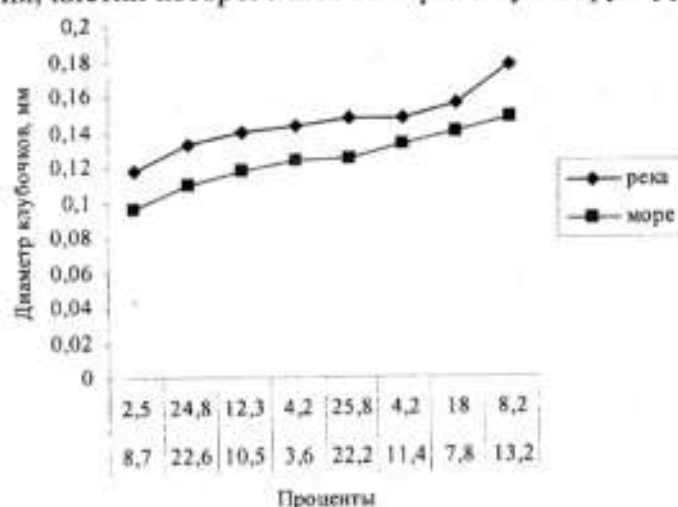
**Table 1.** Relative parameters of mesonephric corpuscle elements in sturgeons from marine and fresh water, %.

Вид	Площадь тельца	Площадь клубочка	Площадь мочевого пространства
Море			
Белуга	100	70,16	29,84
Осетр	100	72,65	27,35
Севрюга	100	80,91	19,09
Стерлядь	100	79,17	20,83
Река			
Осетр	100	76,85	23,15
Севрюга	100	81,73	18,27
Стерлядь	100	81,14	18,86

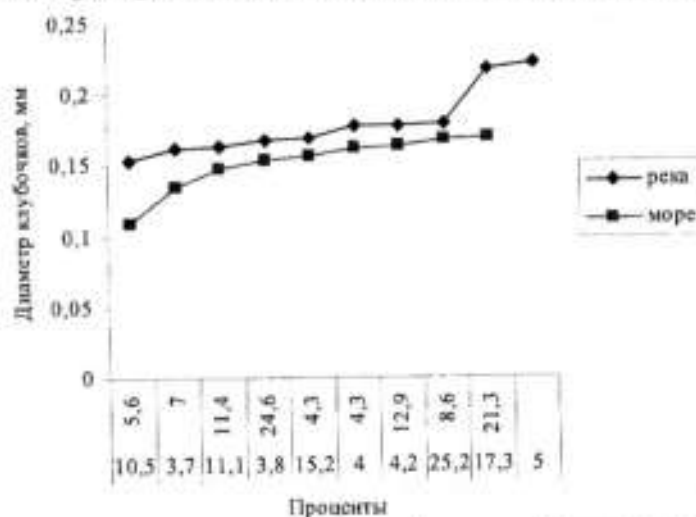
При переходе из морской воды в речную размеры почечных телец увеличиваются (рис. 1-3), соответственно увеличивается и площадь клубочков, что связано с повышенной фильтрацией мочи в почке при нахождении рыб в пресной воде. Наибольшие значения этого показателя встречены у севрюги. Относительные величины показателей элементов почечного тельца (сосудистый клубочек, мочевое пространство) осетровых рыб в реке составляли у осетра – 76,85; 23,15%; севрюги – 81,73; 18,27%, стерляди – 81,14; 18,86% соответственно.

Увеличение диаметра почечных клубочков в речной период жизни у осетровых связано со сменой среды обитания. Литературные данные свидетельствуют, что у пресноводных рыб клубочки отличаются большими размерами, при этом происходит сокращение толщины клубочкового фильтрационного барьера и, как следствие, – увеличение пор и фенестр (Крестинская, Манусова, 1974). Утолщенная базальная мембрана у морских рыб приводит к снижению функциональной активности фильтрационного барьера, к меньшей потере организмом жидкости. Физиологические данные также свидетельствуют о более интенсивной клубочковой фильтрации пресноводных рыб, по сравнению с морскими. Адаптация рыб к средам с различным водно-солевым режимом находит свое отражение в составе мочи, изменениях осмолярности сыворотки крови и концентрации в ней отдельных

ионов (Наточин и др., 1975; Металлов, 1977; Краюшкина, 1997). Уменьшение просвета клубочковых капилляров, отмеченное у осетровых рыб в море, может быть связано с разрастанием мезангия, клетки которого имеют отростчатую структуру.



**Рис. 1.** Диаметр сосудистых клубочков осетра в речной и морской периоды жизни.  
**Fig. 1.** Diameter of Russian sturgeon glomeruli during the river and marine periods of life.



**Рис. 2.** Диаметр сосудистых клубочков севрюги в речной и морской периоды жизни.  
**Fig. 2.** Diameter of stellate sturgeon glomeruli during the river and marine periods of life.

Канальцевая часть нефрона у осетровых состоит из трех отделов: проксимальный, дистальный и связующий отдел, соединяющий нефрон с системой собирательных трубочек. Они обладают структурными и топографическими особенностями и выполняют соответственно различные функции. Фильтрация и предварительная реабсорбция происходит в проксимальном отделе. Почечная деятельность, направленная на охрану постоянства внутренней среды, реализуется в дистальном сегменте, в состав которого входит дистальный извитой канал, связующий отдел и собирательная трубка. Этот отдел нефрона способен работать против осмотических сил и отделять воду от растворенных в ней веществ. Вода приобретает здесь самостоятельное значение, моча может подвергаться как разведению, так и концентрированию (Гинецинский, 1963). Площадь срезов проксимальных и дистальных канальцев у всех видов осетровых немного выше в речной период.



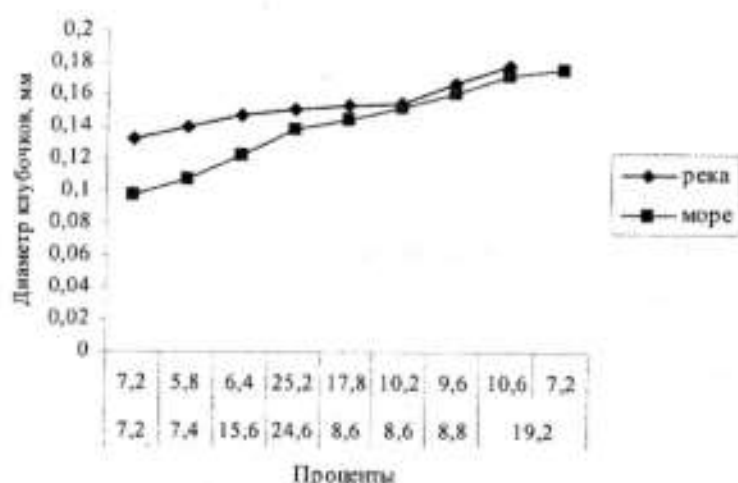


Рис. 3. Диаметр сосудистых клубочков стерляди в речной и морской периоды жизни.

Fig. 3. Diameter of sterlet glomeruli during the river and marine periods of life.

В пределах органотипического интервала располагается 87,4% площадей проксимальных канальцев белуги, 89,1% – осетра, 89,6% – севрюги, 88,4% – стерляди. Это говорит о том, что проксимальные канальцы являются главным отделом канальцевой части мезонефрона, активно функционирующей его частью. Большинство клеток проксимального канальца призматической формы, высота которых в 1,5 раза больше ширины, с хорошо развитой щеточной каемкой на апикальной поверхности. Микроворсинки, составляющие щеточную каемку, могут быть узкими и длинными, или короткими и толстыми. Ядра клеток овальные, немного вытянуты в продольном направлении. Относительные показатели площади проксимального канальца в море варьировали в зависимости от вида от 76,36 до 87,33%, в реке – от 87,02 до 89,36%. Параметры дистального канальца были в пределах 57,22-68,59% (море) и 55,44-67,00% (река) (табл. 2).

Таблица 2. Относительные показатели элементов мезонефральных канальцев осетровых рыб из морской и пресной воды, %.

Table 2. Relative parameters of mesonephric duct elements of sturgeons from marine and fresh water, %.

Вид	Площадь проксимального канальца	Площадь просвета проксимального канальца	Площадь просвета дистального канальца	Площадь просвета дистального канальца
Море				
Белуга	85,51	14,49	64,31	35,69
Осетр	76,36	23,64	57,22	42,78
Севрюга	80,18	19,82	59,29	40,71
Стерлядь	87,33	12,67	68,59	31,41
Река				
Осетр	89,36	10,64	55,44	44,56
Севрюга	87,02	12,98	60,53	39,47
Стерлядь	88,49	11,51	67,00	33,00

Морфологическое отличие дистальных канальцев от проксимальных заключается в том, что клетки их стенок низкие, меньше по размеру, просветы обычно шире, поэтому относительные показатели площади стенок дистальных канальцев сокращаются, а площадь просвета поперечного сечения увеличивается по сравнению с площадью просвета

проксимального канальца. В этом канальце, также как и в проксимальном отделе нефрона, наблюдаются различия в строении клеток, которые обусловлены в основном степенью развития складчатости латеральных и базальных клеточных мембран и количеством митохондрий (Гамбарян, 1984).

У проходных рыб при переходе из моря в реку происходит перестройка водно-солевого обмена, которая находит свое отражение в функционировании нефронов. Оценивая величины морфометрических показателей функционального состояния почечных телец у осетровых в морской и речной периоды жизни, можно отметить большой динамизм, в сравнении с морфометрическими параметрами канальцев. Величины средних площадей клубочков и мочевого пространства претерпевают колебания при переходе осетровых рыб из моря в реку. Наибольшая площадь клубочков отмечена у севрюги ( $18\,143,60\text{--}25\,775,50\text{ мкм}^2$ ), наименьшая – у белуги ( $10\,618,95\text{ мкм}^2$ ). У осетра и стерляди (море-река) площадь клубочков занимает промежуточное положение ( $12\,343,04\text{--}16\,039,73\text{ мкм}^2$ ,  $15\,866,04\text{--}18\,543,94\text{ мкм}^2$  соответственно). Стерлядь среди осетровых является пресноводной формой, поэтому существенных колебаний в размерах площади клубочков в морской зоне с низкой соленостью и реке у нее не наблюдается, в связи с чем можно предположить, что у стерляди сохраняется гиперосмотический тип регуляции и перехода к гипоосмотическому типу не происходит (Семенова, 2002; Краюшкина, Семенова, 2006).

Разница в размерах площади проксимальных и дистальных канальцев при переходе из моря в реку у всех видов осетровых колеблется в различных пределах. Увеличение площади проксимального канальца у осетра составило  $214,10\text{ мкм}^2$ , севрюги –  $97,71\text{ мкм}^2$ , стерляди –  $62,08\text{ мкм}^2$ , дистального отделов –  $172,88\text{ мкм}^2$ ,  $125,69$ ,  $78,81\text{ мкм}^2$  соответственно. В реке наибольшая площадь проксимального канальца вычислена у осетра –  $2\,972,85\text{ мкм}^2$  и стерляди –  $2\,838,85\text{ мкм}^2$ , дистального – у севрюги –  $2\,359,06\text{ мкм}^2$  и стерляди –  $2\,269,59\text{ мкм}^2$ . Все величины площадей элементов нефрона у осетровых рыб укладываются в интервал морфометрических параметров (табл. 3).

Полученные данные подтверждают сведения о том, что скорость клубочковой фильтрации у проходных рыб в море незначительна, по сравнению с рекой, о чем свидетельствуют размеры клубочка и некоторые особенности его структуры: толстая базальная мембрана, развитый матрикс мезангия, редкие фенестры, короткие, плохо выраженные ножки подоцитов (Крестинская, Манусова, 1974).

Полученные морфометрические данные свидетельствуют о возможной функциональной перестройке выделительной системы осетровых рыб при анадромных (в реку), катадромных (в море) миграциях. Наибольшие значения параметров морфометрических показателей нефронов в пресной воде обеспечивают повышенную экскреторную функцию, а наименьшие значения показателей элементов мезонефроса у осетровых в морской воде способствуют ее сохранению в организме и замедлению мочеотделения.

Таким образом, во взрослом состоянии у осетровых рыб содержится достаточное количество телец, морфометрические параметры которых располагаются в пределах органотипического интервала. В то же время имеются тельца, содержащие сосудистые клубочки малого размера и расширенное мочевое пространство. Это может свидетельствовать о минимизации процесса ультрафильтрации.

Таблица 3. Интервал морфометрических параметров мезонефроса осетровых из морской и пресной воды.  
Table 3. Interval between morphometric parameters of sturgeon mesonephros in marine and fresh water.

Параметр		M-δ ≤ X ≤ M+δ (в мкм <sup>2</sup> )
Море		
Площадь тельца	Белуга	8835,34-21433,76
	Осетр	9621,65-24357,95
	Севрюга	12827,46-34021,06
	Стерлядь	15696,24-24385,56
Площадь сосудистого клубочка	Белуга	4616,55-16621,35
	Осетр	11840,41-12845,67
	Севрюга	14468,44-21818,76
	Стерлядь	11998,41-19733,67
Площадь мочевого пространства	Белуга	663,96-8367,24
	Осетр	2168,57-7124,95
	Севрюга	354,98-8206,34
	Стерлядь	2854,48-5495,24
Площадь проксимального канальца	Белуга	1104,68-4282,20
	Осетр	1501,75-4015,75
	Севрюга	1455,20-3657,68
	Стерлядь	2061,04-3452,54
Площадь просвета проксимального канальца	Белуга	22,29-890,09
	Осетр	15,9-1692,18
	Севрюга	155,77-1108,37
	Стерлядь	54,01-746,07
Площадь дистального канальца	Белуга	624,07-3555,45
	Осетр	356,58-3722,38
	Севрюга	840,13-3626,61
	Стерлядь	1479,73-2901,83
Площадь просвета дистального канальца	Белуга	52,29-2266,87
	Осетр	64,29-2985,18
	Севрюга	497,20-2573,00
	Стерлядь	530,76-1475,58
Река		
Площадь тельца	Осетр	13881,23-27859,27
	Севрюга	17269,91-45803,89
	Стерлядь	18217,17-27490,81
Площадь сосудистого клубочка	Осетр	10141,42-21938,04
	Севрюга	17038,93-34512,07
	Стерлядь	11709,27-25378,61
Площадь мочевого пространства	Осетр	881,21-8789,83
	Севрюга	746,67-10776,13
	Стерлядь	615,26-8004,84
Площадь проксимального канальца	Осетр	2376,28-3569,42
	Севрюга	1487,94-3820,36
	Стерлядь	2104,15-3573,55
Площадь просвета проксимального канальца	Осетр	178,20-529,56
	Севрюга	218,89-572,97
	Стерлядь	91,62-646,90
Площадь дистального канальца	Осетр	210,77-4213,95
	Севрюга	841,70-3876,42
	Стерлядь	1629,08-2910,10
Площадь просвета дистального канальца	Осетр	394,93-3161,93
	Севрюга	122,31-2954,89
	Стерлядь	635,04-1600,24

Для проксимальных и дистальных канальцев во взрослом состоянии характерно увеличение морфометрических показателей, особенно в речной период. Это связано с адаптивными способностями мезонефроса осетровых видов рыб при анадромных и катадромных миграциях. В пределах проксимального и дистального отделов нефронов располагаются клетки со структурной и функциональной специализацией, которая не исключает возможности перестройки клеток нефрона на ультраструктурном уровне при изменении условий существования (Гамбарян, 1984) и выполнения функции эвакуации ультрафильтрата. Морфометрические характеристики мезонефроса взрослых рыб позволяют сделать вывод о том, что в период миграции осетровых в пресную воду орган находится в состоянии высокой функциональной активности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров В.Н., Назарова Л.В., Машанов М.Н., Чуткин С.В. Программный комплекс обработки экспериментальных данных в морфологии // Морфология. 1998. Т. 113. №3.
- Гамбарян С.П. Ультраструктура почек севрюги из пресной и морской воды // Цитология. 1984. Т. 26. №1. С. 21-28.
- Гинецинский А.Г. Физиологические механизмы водно-солевого равновесия. Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 427 с.
- Краюшкина Л.С. Каспийские осетровые и эволюция механизмов осмотической и ионной регуляции у Acipenseridae. Сб. Первый конгресс ихтиологов России. М.: ВНИРО, 1997. С. 432.
- Краюшкина Л.С., Семенова О.Г. Осмотическая и ионная регуляция у различных видов осетровых (Acipenseriformes, Acipenseridae) // Вопросы ихтиологии. 2006. Т. 46. №1. С. 113-124.
- Крестинская Т.В., Манусова Н.Б. Сравнительное исследование строения почек некоторых пресноводных и морских рыб // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1974. Т. 67. №8. С. 74-81.
- Лакш Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.
- Металлов Г.Ф. Концентрация осмотически активных веществ и ионов в сыворотке крови осетровых в морской и речной периоды жизни: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. биол. наук. Л., 1977. 18 с.
- Наточин Ю.В., Лукьяненко В.И., Лаврова Е.А., Металлов Г.Ф. Катионы сыворотки крови осетровых в морской и речной периоды жизни // Вопросы ихтиологии. 1975. Т. 15. Вып. 5. С. 890-895.
- Ромейс Б. Микроскопическая техника. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954. 648 с.
- Семенова О.Г. Адаптация пресноводных и солоноватоводных видов осетрообразных (Acipenseriformes) к гиперосмотической среде: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. биол. наук. С.-Пб., 2002. 24 с.
- Янин В.Л. Морфометрия мезонефральных телец и канальцев у эмбрионов человека. Мат. Всерос. науч. конф. анатомов, гистологов, эмбриологов «Закономерности морфогенеза и регуляции тканевых процессов в нормальных, экспериментальных и патологических условиях», посвящ. 70-летию со дня рождения П.В. Дунаева. Тюмень, 1998. С. 127-128.
- Dschietzig W. Zur klinischen Wertigkeit der geringen glomerularen abnormitäten (EDV-gestutzte Korrelationsanalysen anamnestischer klinisch-paraklinischer und morphologischer Daten bei 363 Patienten) // Zs. Klin. Med. 1991. V. 46. №121. Pp. 955-956.



Wenz J.R., Pesk M.P., Murphy M.J. Unilateral renal agenesis in the chick embryos: a model for chronic renal insufficiency // Int. J. Dev. Biol. 1992. V. 36. №3. Pp. 445-450.

## **MORPHOMETRY OF STURGEON MESONEPHROS DURING MARINE AND RIVER PERIODS OF LIFE**

© 2008 y. I.N. Lepilina, A.A. Romanov

*Caspian Scientific Research Institute of Fisheries, Astrakhan*

The paper presents morphometric characteristics of sturgeon nephrons during marine and river periods of life. A comparative analysis is made of renal corpuscle and glomeruli areas, cross-sections of ducts and their lumens. Morphometric data obtained show the functional change in the excretory system of sturgeons during their migration into the river and sea.