

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАСТРУКТУРЫ МЕЗОНЕФРОСА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОТРЯДА СОМООБРАЗНЫЕ (SILURIFORMES) РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ

© 2025

Флёрова Е.А.

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова (г. Ярославль, Российская Федерация)

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности ультраструктуры клеток интерстиция и структурных единиц нефрона мезонефроса представителей отряда Siluriformes, обитающих в субэкваториальном и умеренном климатических поясах. Объектом исследования послужили 4 вида сомообразных: донный вид – *Silurus glanis*, обитатель Рыбинского водохранилища, расположенного в европейской части России; донные виды *Clarias batrachus*, *Clarias gariepinus* и донно-пелагический вид *Mystus gulio* – обитатели реки Кай южного Вьетнама. Показано, что ультраструктура клеток интерстиция Siluriformes подобна таковым пресноводных костистых рыб отрядов Cypriniformes и Perciformes. Нейтрофилы сомообразных, по структурным признакам вторичных гранул, схожи с окунеобразными. Обнаружено сходство ультраструктуры нефрона сомообразных с нефроном лососеобразных по наличию шейного отдела в проксимальных канальцах нефрона. Наличие в зоне эндоцитоза хорошо развитого тубулярного ретикулума, образующего петли, характеризует тип питания исследуемых видов. Ультраструктура мезонефроса сомообразных субэкваториального пояса отличается от таковой у *S. glanis* умеренного пояса морфометрическими характеристиками лейкоцитов, ионотransпортирующих клеток, структурных единиц почечных телец и канальцев нефрона. Эти морфологические признаки отражают различия в интенсивности водного обмена в организме и являются адаптацией к обитанию в условиях среднегодовых высоких температур.

Ключевые слова: сомообразные; Siluriformes; ультраструктура мезонефроса рыб; лейкоциты; ионотransпортирующие клетки; клетки с радиально расположенными везикулами; палочковые клетки; нефрон рыб; температурные адаптации.

FEATURES OF THE ULTRASTRUCTURE OF THE MESONEPHROS OF REPRESENTATIVES OF THE ORDER SILURIFORMES FROM DIFFERENT CLIMATIC ZONES

© 2025

Flerova E.A.

P.G. Demidov Yaroslavl State University (Yaroslavl, Russian Federation)

Abstract. This article discusses the ultrastructure of interstitial cells and structural units of the nephron-mesonephros in representatives of the Siluriformes order, living in the subequatorial and temperate climate zones. The object of the study was 4 species of catfish: the bottom species *Silurus glanis*, an inhabitant of the Rybinsk Reservoir located in the European part of Russia; the bottom species *Clarias batrachus*, *Clarias gariepinus* and the bottom-pelagic species *Mystus gulio*, inhabitants of the Cai River in southern Vietnam. It is shown that the ultrastructure of the interstitial cells of Siluriformes is similar to that of freshwater bony fishes of the Cypriniformes and Perciformes orders. Neutrophils of catfish, according to the structural features of secondary granules, are similar to those of Perciformes. The ultrastructure of the nephron of catfishes is similar to that of salmonids in the presence of a neck section in the proximal tubules of the nephron. The presence of a well-developed tubular reticulum in the endocytosis zone, forming loops, characterizes the type of nutrition of the studied species. The ultrastructure of the mesonephros of catfishes of the subequatorial zone differs from that of *S. glanis* of the temperate zone in the morphometric characteristics of leukocytes, iontransporting cells, structural units of the renal corpuscles and nephron tubules. These morphological features reflect differences in the intensity of water exchange in the body and are an adaptation to living in conditions with average annual high temperatures.

Keywords: catfish; Siluriformes; ultrastructure of the fish mesonephros; leukocytes; iontransporting cells; cells with radially arranged vesicles; rodlet cells; fish nephron; temperature adaptations.

Введение

Решение задач, связанных с различными адаптациями животных к условиям внешней среды относятся к важным аспектам современной зоологии. Изучение взаимодействия организма и окружающей среды на органном и клеточном уровнях наиболее полно отражает адаптационные возможности организма.

Известно, что почки рыб служат ведущим эффективным компонентом физиологической системы водно-солевого обмена, благодаря которому рыбы приобрели определенную независимость от среды обитания и заселили как морские, так и пресные воды [1–3]. Кроме того, почка – это уникальный орган кровото-

ния, в котором происходит пролиферация и созревание всех линий клеток, в почках возможно осуществление всех стадий иммунного ответа независимо от других лимфоидных органов [4–7].

Показано, что при воздействии на организм не только солёности, но и повышенной температуры окружающей среды наступает стимулирование водно-солевого обмена, в том числе и за счет активации гликолитического и окислительного обмена в почках. Увеличение общей интенсивности метаболизма в тканях происходит за счет большего количества энергии, образующейся в ходе реакций окисления и гликолиза. Она расходуется на активный транспорт ио-

нов через мембраны [8]. Кроме того, существует гипотеза об экскреторной функции лейкоцитов интерстиция мезонефроса в случаях, когда ток жидкости в канальцах мал из-за небольшого размера клубочков почечных телец [9].

Для понимания тканевых и клеточных основ реализации данных механизмов в почках, необходимо детальное описание ультраструктуры единиц, образующих интерстиций и нефроны мезонефроса рыб, обитающих в разных климатических поясах. С этой точки зрения представители отряда Siluriformes являются удобными объектами для решения поставленных задач, так как многие близкие по происхождению виды, объединенные в данную систематическую группу, адаптированы к различным среднегодовым температурам среды обитания.

Цель исследования: изучить ультраструктуру клеток интерстиция и нефронов мезонефроса представителей отряда Siluriformes, обитающих в разных климатических поясах.

Объекты исследования

Донный вид – обыкновенный (европейский) сом *Silurus glanis* Linnaeus, сем. Siluridae. Особи (3 экз., длиной $135 \pm 4,16$ см, массой $1759 \pm 86,3$ г) были отловлены в Главном плесе Рыбинского водохранилища с помощью ставных сетей. Координаты места отлова сомов: $58^{\circ}12,09'$ с.ш., $38^{\circ}23,57'$ в.д. Рыбинское водохранилище расположено в умеренном климатическом поясе (Россия, Ярославская, Тверская, Вологодская области). Для весеннего периода характерно сравнительно медленное накопление тепла, повышение температуры воды от значений, близких к 0°C до $+8...+9^{\circ}\text{C}$. Наибольший прогрев придонного слоя водохранилища в летнее время составляет $+16...+20^{\circ}\text{C}$ [10].

Донные виды сем. Clariidae – лягушковый клариевый сом *Clarias batrachus* (Linnaeus, 1758) – 4 экз., длиной $18,7 \pm 1,45$ см, массой $67,5 \pm 5,26$ г, африканский клариевый сом *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) – 3 экз., длиной $22,9 \pm 1,05$ см, массой $128 \pm 28,8$ г; донно-пелагический вид сем. Bagridae – длинноусый сомик *Mystus gulio* (Hamilton, 1822) – 3 экз., длиной $12,7 \pm 1,15$ см, массой $8,60 \pm 0,10$ г. Особи были отловлены неводом в весенне-летний период в реке Кай (провинция Кхань Хоа, Южный Вьетнам). Координаты места отлова $12^{\circ}26'$ с.ш., $109^{\circ}13'$ в.д. Пробы были собраны в нижнем течении водоёма, который образует залив в городе Нячанг при впадении в Южно-Китайское море. Среднегодовая температура воды колеблется от $+21$ до $+34^{\circ}\text{C}$ [11].

Материалы и методы

Материал для электронной микроскопии фиксировали в 2,5% глутаральдегиде и 1% четырехокиси осмия. Для заливки материала использовали стандартный набор смол Araldite, Embed 812 (США). Ультратонкие срезы толщиной $200\text{--}300$ Å готовили на микротоме LKB-Nova, контрастировали 2% водным раствором уранилацетата и 0,2% цитратом свинца. Измерение клеток и клеточных органелл проводили на цифровых фотографиях, полученных с трансмиссионного электронного микроскопа JEM 1011. Морфометрический анализ проводили с помощью J Micro Vision 1.2.7 software. Измеряли площадь 10 срезов лимфоцитов, плазматических клеток, макрофагов, нейтрофилов и эозинофилов, 5 срезов ионтранспортиру-

ющих клеток, 3 срезов клеток с радиально расположенными везикулами (КРВ) и палочковых клеток. На каждом срезе клетки измеряли площадь ядра и площадь 5 митохондрий, считали их количество. Дополнительно, на каждом срезе плазматических клеток измеряли ширину шероховатого эндоплазматического ретикулума (ШЭР); на каждом срезе гранулоцитов измеряли длину, ширину и площадь 5 гранул, считали их количество и рассчитывали форм-фактор как соотношение ширины к длине гранулы. На каждом срезе макрофага измеряли площадь фагосом, считали их количество. На каждом срезе КРВ измеряли диаметр 5 везикул, считали их количество. На каждом срезе палочковой клетки, измеряли длину, ширину от 4 до 6 палочковых гранул для расчета форм-фактора, считали их количество. На срезах нефронов мезонефроса измеряли площадь 20 почечных телец, ширину мочевого пространства, диаметр капилляров, ширину базальной мембраны и площадь 20 подоцитов боуменовых капсул; высоту и площадь 20 эпителиоцитов каждого типа, формирующих канальцы. На каждом срезе клетки измеряли площадь ядра и площадь 10 митохондрий, подсчитывали их количество; измеряли длину зоны эндоцитоза и щеточной каемки, средний диаметр микроворсинок и ресничек, ширину канальцев гладкого эндоплазматического ретикулума (ГЭР). На каждом срезе эпителиоцита I типа измеряли площадь секреторных гранул, подсчитывали их количество.

Для определения различий между группами рыб статистический анализ проводили в два этапа. На первом этапе, первичные данные были получены для каждой особи; рассчитывали средние значения и стандартную ошибку среднего. Нами не было обнаружено статистически значимых различий между самками и самцами, поэтому на следующем этапе самцов и самок анализировали вместе. На втором этапе, средние значения и стандартную ошибку среднего рассчитывали для группы особей. Программное обеспечение Statgraphics Plus использовали для анализа наборов данных. Были применены непараметрические тесты, а именно Н-критерий Краскела–Уоллиса и посткритерий множественных сравнений Данна. Уровень значимости был установлен на уровне 0,05 ($p < 0,05$). Для кластерного анализа методом Уорда использовали программу PAST [12].

Результаты

Ультраструктура клеток интерстиция

В интерстиции почек всех исследованных видов обнаружены лейкоциты, КРВ, палочковые и ионтранспортирующие клетки.

Характерной чертой лимфоцитов является крупное ядро, занимающее почти весь объем клетки. Как правило, ядра лимфоцитов имеют округлую форму, на срезах таких ядер визуализируются ядрышки. У сомов реки Кай описаны дольчатые ядра лимфоцитов. Цитоплазма содержит митохондрии и свободные рибосомы, на срезах некоторых клеток обнаружены одиночные цистерны шероховатого эндоплазматического ретикулума (рис. 1: А, Б, В).

Плазматические клетки крупнее лимфоцитов. Ядро в клетках округлое, смещено к периферии клеток, в некоторых ядрах визуализируются ядрышки. Цитоплазма клеток заполнена шероховатым эндоплазматическим ретикуломом. Ширина цистерн у исследо-

ванных видов варьирует незначительно от 0,08 мкм в клетках африканского клариевого сома до 0,11 мкм в клетках обыкновенного сома. В цитоплазме клеток также встречаются митохондрии (рис. 1: Г, Ж).

Размеры лимфоцитов и плазматических клеток, размеры митохондрий, количество митохондрий в плазматических клетках у видов реки Кай больше, чем у клеток и их органоидов в почках обыкновенного сома (табл. 1).

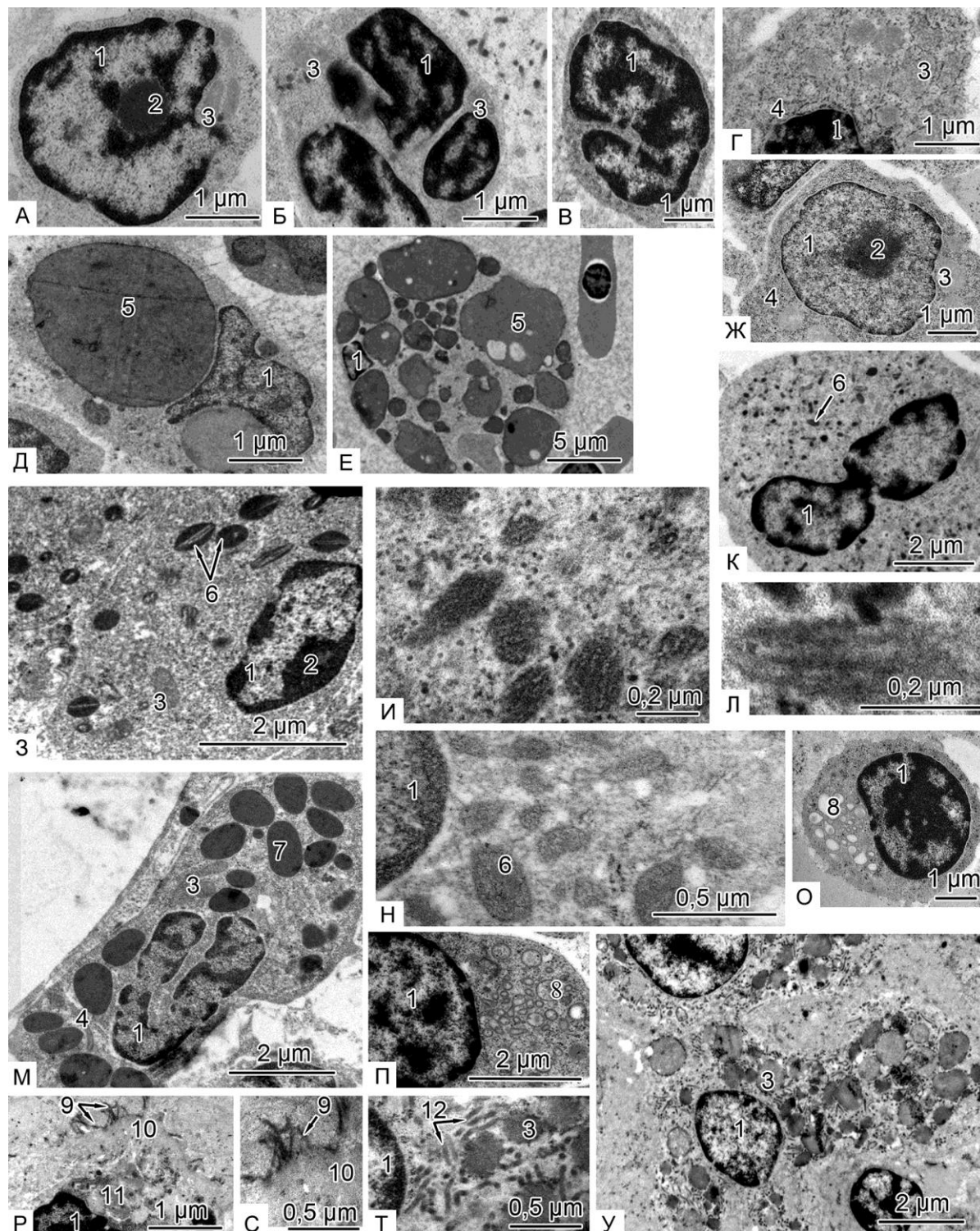


Рисунок 1 – Клетки интерстиция сомообразных. Лимфоцит *S. glanis* (А), лимфоцит *M. guilio* (Б, В), плазматическая клетка *S. glanis* (Г), макрофаг *C. gariepinus* (Д), макрофаг *S. glanis* (Е), плазматическая клетка *C. batrachus* (Ж), нейтрофил *M. guilio* (З), гранулы нейтрофила *S. glanis* (И, Л), нейтрофил *S. glanis* (К), эозинофил *M. guilio* (М), цитоплазма нейтрофила *C. batrachus* (Н), КРВ *C. batrachus* (О), КРВ *S. glanis* (П), палочковая клетка *C. batrachus* (Р), стенка палочковой клетки *C. batrachus* (С), цитоплазма ионтранспортирующей клетки *C. batrachus* (Т), ионтранспортирующие клетки *C. batrachus* (У).

Основные структурные компоненты: ядро (1), ядрышко (2), митохондрии (3), шероховатый эндоплазматический ретикулум (4), фагосомы (5), специфические гранулы нейтрофила (6), специфические гранулы эозинофила (7), везикулы (8), микрофибриллы (9), фибриллярная оболочка (10), гранула (11), тубулярный ретикулум (12)

Таблица 1 – Морфометрические параметры клеточных структур агранулоцитов интерстиция мезонефроса

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulo</i>
Лимфоциты					
Клетка, мкм ²		5,87 ± 0,52 ¹	6,72 ± 0,72 ^{1, 2}	7,79 ± 0,24 ²	7,50 ± 0,56 ²
Ядро, мкм ²		4,73 ± 0,60	4,24 ± 0,55	4,86 ± 0,11	5,09 ± 0,54
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,05 ± 0,01 ¹	0,09 ± 0,02 ²	0,09 ± 0,03 ²	0,12 ± 0,05 ²
	количество	3,40 ± 1,51	3,50 ± 0,50	3,50 ± 0,65	3,67 ± 2,68
Плазматические клетки					
Клетка, мкм ²		17,1 ± 1,61 ¹	25,3 ± 1,92 ²	27,1 ± 1,56 ²	30,3 ± 1,92 ²
Ядро, мкм ²		7,57 ± 0,49	5,60 ± 1,38	4,86 ± 0,11	5,88 ± 3,19
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,04 ± 0,01 ¹	0,11 ± 0,00 ²	0,11 ± 0,02 ²	0,13 ± 0,00 ²
	количество	2,67 ± 0,29 ¹	10,0 ± 0,05 ²	8,40 ± 0,03 ²	12,0 ± 0,71 ²
Ширина канальцев ШЭР, мкм		0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,03
Макрофаги					
Клетка	площадь, мкм ²	81,8 ± 17,5	92,8 ± 8,01	85,0 ± 1,39	104 ± 21,7
Ядро	площадь, мкм ²	8,31 ± 2,42	7,98 ± 3,61	11,5 ± 1,04	9,48 ± 1,09
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,11 ± 0,01 ¹	0,18 ± 0,02 ²	0,25 ± 0,05 ²	0,26 ± 0,04 ²
	количество	2,75 ± 0,55 ¹	4,50 ± 0,01 ²	4,00 ± 0,05 ²	5,10 ± 0,10 ²
Фагосомы	площадь, мкм ²	0,34 ± 0,35 ¹	3,74 ± 2,93 ²	2,49 ± 0,68 ²	2,79 ± 1,66 ²
	количество	26,2 ± 5,79 ¹	16,5 ± 7,50 ¹	12,3 ± 1,53 ^{1, 2}	8,67 ± 4,60 ²

Примечание. Здесь и далее разные индексы в строках указывают на статистически достоверные различия между показателями, $p < 0,05$.

Макрофаги – клетки с эксцентрично расположенным ядром округлой или палочковидной формы. Ядра некоторых клеток образуют инвагинации. Цитоплазма клеток содержит большое количество крупных электронно-плотных гомогенных фагосом, которые занимают практически весь объем клетки. Помимо фагосом цитоплазма содержит митохондрии, одиночные цистерны шероховатого эндоплазматического ретикулума, лизосомы (рис. 1: *Д, Е*). Размеры макрофагов и их ядер варьируют не сильно. Количество и площадь митохондрий, а также площадь фагосом в клетках обыкновенного сома уступает данным показателям для видов реки Кай. Лишь количество фагосом в макрофагах обыкновенного сома превышает количество включений в макрофагах видов реки Кай (табл. 1).

Нейтрофилы – клетки, форма ядер которых палочковидная или сегментовидная. В цитоплазме нейтрофилов визуализируются цистерны шероховатого эндоплазматического ретикулума, митохондрии и специфические гранулы (рис. 1: *К, З*). Специфические гранулы нейтрофилов веретеновидной формы (форм-фактор 0,35–0,42). Вдоль центральной части среза гранул большинства исследованных видов тянутся равномерно распределенные электронно-плотные фибриллы (рис. 1: *И, Л, Н*). Исключение составили гранулы длинноусого сомика, которые имеют электронно-прозрачную сердцевину с электронно-плотными краями, образованными из плотно прилегающих друг к другу фибрилл. На малом увеличении создается впечатление гомогенности плотных краев гранул. В центральной части некоторых гранул просматривается центрально расположенная фибрилла, тянущаяся вдоль гранулы (рис. 1: *З*). Размеры нейтрофилов, количество и размеры митохондрий, размеры специфических гранул видов реки Кай больше по сравнению с данными параметрами для обыкновенного сома, тогда как самое большое количество гранул обнаружено в цитоплазме нейтрофилов обыкновенного сома (табл. 2).

Эозинофилы – клетки, ядра которых, как правило, палочковидные или сегментовидные. Цитоплазма менее гетерогенная по сравнению с нейтрофилами, содержит небольшое количество крупных митохондрий, отдельные цистерны шероховатого эндоплазматического ретикулума, округлые (форм-фактор 0,74–0,83) гомогенные специфические гранулы (рис. 1: *М*). Площадь и количество специфических гранул наибольшая в эозинофилах длинноусого сомика. Размеры эозинофилов, площадь и количество их митохондрий у обыкновенного сома достоверно меньше по сравнению с данными показателями исследованных видов рыб реки Кай (табл. 2).

КРВ обнаружены у всех исследованных видов, кроме длинноусого сомика. Это клетки округлой или трехгранной формы с эксцентрично расположенным ядром. Цитоплазма содержит митохондрии, большинство которых локализовано в апикальной части клеток между везикулами. В цитоплазме КРВ сомообразных зарегистрированы электронно-прозрачные везикулы, везикулы с электронно-плотными включениями, локализующимися рядом с мембраной везикул, а также электронно-плотные везикулы (рис. 1: *О, П*). КРВ сомообразных крупнее лимфоцитов. Размеры КРВ и их органелл у исследованных видов подобны. Лишь количество везикул в клетках обыкновенного сома более чем в 2 раза превышает данный показатель для клеток лягушкового и африканского клариевых сомов (табл. 3).

Палочковые клетки обнаружены лишь в интерстиции клариевых сомов. Во всех органах клетки идентичны и находятся на 3 стадии зрелости (рис. 1: *Р, С*). Клетки имеют широкую оболочку, состоящую из микрофибрилл, ядра клеток смещены к периферии клетки. В цитоплазме визуализируются электронно-плотные гомогенные округлые гранулы. Размеры клеток, ядер и гранул у исследованных видов подобны друг другу (табл. 3).

Ионтранспортирующие клетки – это клетки эллипсоидной формы, цитоплазма которых заполнена большим количеством митохондрий, везикулы и хорошо развитый тубулярный ретикулум (рис. 1: Т, У). Размеры клеток обыкновенного сома уступают размерам клеток видов реки Кай. При этом наиболее крупные ядра обнаружены в клетках обыкновенного сома. Площадь митохондрий в клетках видов реки Кай более чем в 7 раз превышает данный показатель для митохондрий клеток обыкновенного сома. Количество этих органоидов больше в клетках видов реки Кай по сравнению с обыкновенным сомом (табл. 3).

Ультраструктура нефрона

Общая схема строения нефрона сомообразных одинакова. Начало нефрона образует почечное тельце, состоящее из боуменовой капсулы и клубочка капил-

ляров (рис. 2: А). Базальная мембрана почечных телец является единым фильтрационным барьером как для боуменовой капсулы, так и для капилляров клубочка. Наименьший размер почечных телец с наименьшей площадью клеток плоского эпителия, формирующего париетальный листок боуменовой капсулы, обнаружены в мезонефросе обыкновенного сома. Почечные тельца видов реки Кай в 2 раза крупнее таковых обыкновенного сома. Наиболее крупные подоциты, формирующие висцеральный листок боуменовой капсулы (рис. 2: Б), обнаружены в почечных тельцах длинноусого сомика. Такие показатели как мочевое пространство, толщина базальной мембраны и диаметр капилляров, формирующих клубочек, у исследованных видов имеют близкие значения (табл. 4).

Таблица 2 – Морфометрические параметры клеточных структур гранулоцитов интерстиция мезонефроса

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Нейтрофилы					
Клетка, мкм²		19,6 ± 1,34¹	41,5 ± 3,11²	44,3 ± 4,09²	30,3 ± 3,25²
Ядро, мкм²		7,07 ± 1,16	6,12 ± 1,04	5,89 ± 0,90	6,36 ± 1,20
Митохондрии	площадь, мкм²	0,06 ± 0,02¹	0,12 ± 0,01²	0,12 ± 0,01²	0,14 ± 0,02²
	количество	1,60 ± 0,24¹	3,00 ± 0,41²	3,60 ± 0,27²	5,60 ± 1,15²
Гранулы	площадь, мкм²	0,03 ± 0,00¹	0,06 ± 0,01²	0,05 ± 0,00²	0,13 ± 0,02³
	форм-фактор	0,35	0,42	0,42	0,54
Общее количество гранул		29,1 ± 5,05¹	15,3 ± 4,32²	16,0 ± 2,45²	18,0 ± 2,92²
Эозинофилы					
Клетка, мкм²		19,9 ± 2,87¹	31,2 ± 3,14²	33,9 ± 3,29²	37,6 ± 5,46²
Ядро, мкм²		6,37 ± 0,98	5,50 ± 0,65	5,65 ± 0,35	5,91 ± 3,65
Митохондрии	площадь, мкм²	0,06 ± 0,01¹	0,30 ± 0,04²	0,26 ± 0,02²	0,30 ± 0,01²
	количество	1,75 ± 0,25¹	5,8 ± 1,38²	10,80 ± 0,42³	8,25 ± 0,29³
Гранулы	площадь, мкм²	0,20 ± 0,03¹	0,18 ± 0,04¹	0,24 ± 0,02¹	0,44 ± 0,04²
	форм-фактор	0,83	0,79	0,78	0,74
	количество	51,3 ± 13,1¹	84,8 ± 11,0¹	76,8 ± 7,32¹	45,0 ± 3,50²

Таблица 3 – Морфометрические параметры клеточных структур КРВ, палочковых клеток и ионтранспортирующих клеток интерстиция мезонефроса

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Клетки с радиально расположенными везикулами					
Клетка, мкм²		15,4 ± 6,89	15,8 ± 5,57	15,2 ± 2,88	не обнаружены
Ядро, мкм²		4,55 ± 0,38	5,20 ± 0,69	5,37 ± 0,93	
Митохондрии	площадь, мкм²	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,01	
	количество	2,80 ± 0,22	2,60 ± 0,27	2,80 ± 0,22	
Везикулы	диаметр, мкм	0,37 ± 0,05	0,53 ± 0,13	0,41 ± 0,09	
	количество	26,0 ± 2,83¹	11,0 ± 3,16²	9,00 ± 1,12²	
Палочковые клетки					
Клетка, мкм²		не обнаружены	8,16 ± 0,21	8,26 ± 0,17	не обнаружены
Ядро, мкм²			2,44 ± 0,57	2,57 ± 0,42	
Гранулы	площадь, мкм²		0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	
	форм-фактор		0,47	0,45	
Общее количество			8,00 ± 0,71	7,25 ± 0,63	
Ионтранспортирующие клетки					
Клетка, мкм²		37,5 ± 1,64¹	47,2 ± 1,26²	46,7 ± 1,16²	47,7 ± 1,66²
Ядро, мкм²		12,6 ± 0,78¹	5,45 ± 0,20²	5,45 ± 0,17²	6,02 ± 0,22²
Митохондрии	площадь, мкм²	0,08 ± 0,02¹	0,63 ± 0,04²	0,57 ± 0,08²	0,52 ± 0,02²
	количество	11,5 ± 2,08¹	21,8 ± 1,38²	18,8 ± 0,74²	19,2 ± 1,14²

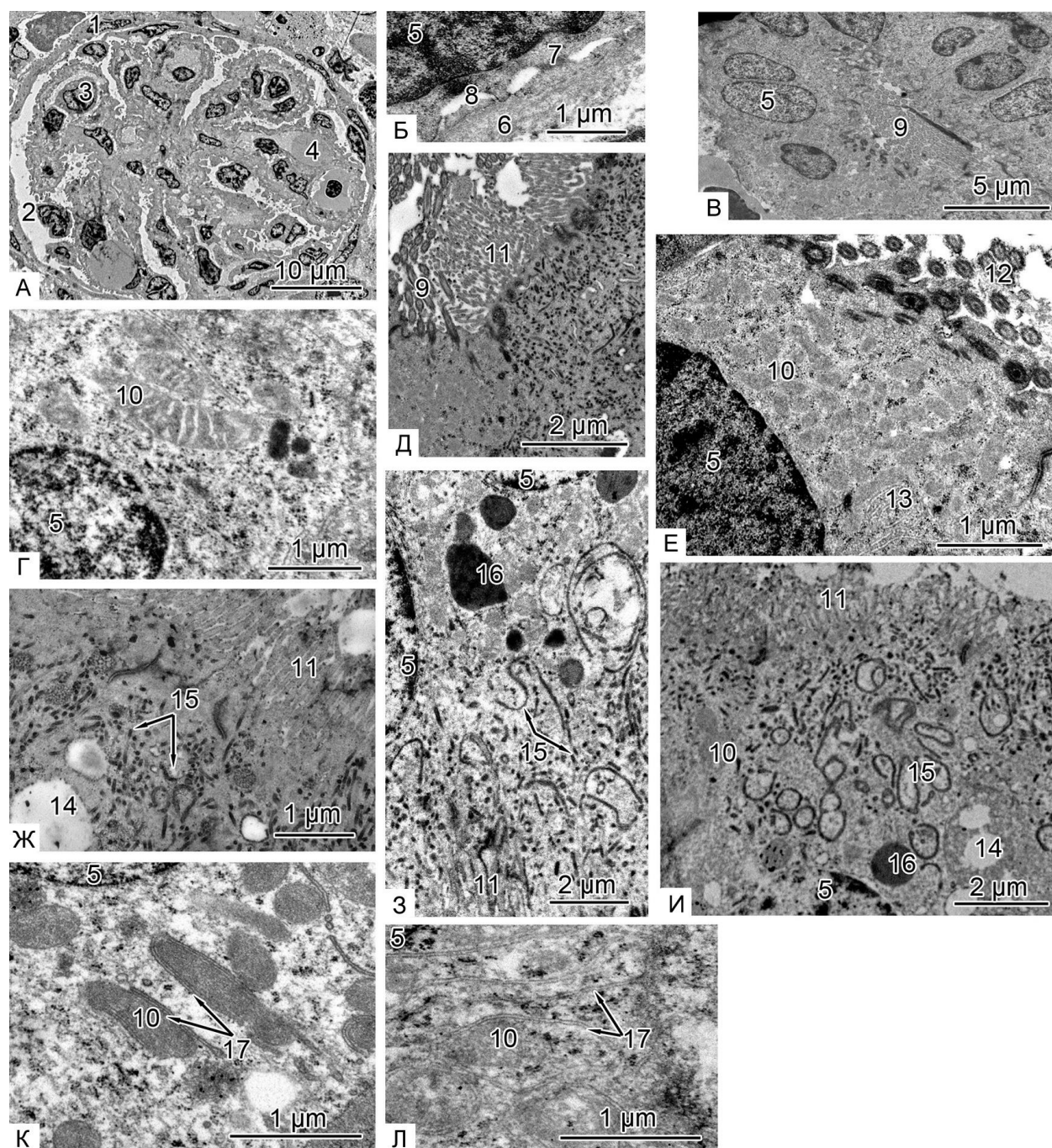


Рисунок 2 – Ультраструктура почечного тельца и проксимальных канальцев сомообразных.

Почечное тельце *S. glanis* (А), подоцит *M. gulio* (Б), шеечный отдел проксимального канальца *S. glanis* (В), базальная часть эпителиоцита шеечного отдела проксимального канальца *S. glanis* (Г), апикальная часть эпителиоцитов шеечного отдела и эпителиоцитов I типа проксимального канальца *S. glanis* (Д), базальная часть шеечного отдела проксимального канальца *C. batrachus* (Е), апикальная часть эпителиоцита I типа проксимального канальца *S. glanis* (Ж), апикальная часть эпителиоцита I типа проксимального канальца *C. batrachus* (З), апикальная часть эпителиоцита I типа *C. gariepinus* (И), базальная часть эпителиоцита I типа *M. gulio* (К), базальная часть эпителиоцита I типа *S. glanis* (Л).

Основные структурные компоненты: клетка плоского эпителия париетального листка Боуменовой капсулы (1), мочевое пространство (2), подоцит (3), капилляр (4), ядро (5), базальная мембрана (6), цитоподия подоцита (7), фильтрационная щель (8), щеточная каемка, образованная ресничками (9), митохондрии (10), щеточная каемка, образованная микроворсинками (11), поперечный срез ресничек шеечного отдела клеток проксимального канальца (12), аппарат Гольджи (13), электронно-прозрачная лизосома (14), тубулярный ретикулум (15), секреторная гранула (16), гладкий эндоплазматический ретикулум (17)

Шеечный отдел сомообразных состоит из 8 реснитчатых клеток. Все эпителиоциты шеечного отдела построены по плану, характерному для клеток этого участка нефрона. Это клетки пирамидальной формы с овальным ядром, расположенным в базальной части клеток (рис. 2: *B*). Наиболее крупные ядра обнаружены в клетках лягушкового клариевого сома и длинноусого сомика (табл. 5). Щеточная каемка, локализованная на апикальной части клеток, образована ресничками (рис. 2: *Д, Е*). Длина щеточной каемки варьирует от 4,66 до 5,32 мкм, она самая длинная по сравнению с клетками других типов, образующих проксимальные каналы (табл. 5). Цитоплазма содержит каналы гладкого эндоплазматического ретикулума и митохондрии эллипсоидной формы с хорошо развитыми кристами (рис. 2: *Г*). Скопление митохондрий более мелких размеров обнаружено в апикальной части клеток в непосредственной близости с базальными тельцами ресничек (рис. 2: *Е*). Площадь и высота эпителиоцитов, ширина канальцев гладкого эндоплазматического ретикулума, длина щеточной каемки, диаметр ресничек шеечного отдела сравниваемых видов сходные. В клетках шеечного отдела обыкновенного сома обнаружено наименьшее количество митохондрий самых маленьких размеров (табл. 5).

Эпителиоциты I типа проксимального канальца – клетки пирамидальной формы с округлым ядром, расположенным в базальной части клеток, от которой тянутся одиночные тяжи гладкого эндоплазматического ретикулума, шириной 0,04–0,05 мкм. Между тяжами локализованы митохондрии эллипсоидной формы (табл. 6; рис. 2: *К, Л*). Особенностью эпителиоцитов I типа сомообразных является наличие крупных электронно-плотных секреторных гранул, вакуолей и

развитие тубулярного ретикулума в зоне эндоцитоза. Тубулярный ретикулум конденсированный, он образует «длинные ленты», собранные в петли (рис. 2: *Ж, З, И*). Площадь и высота клеток, площадь ядер, количество митохондрий в клетках у видов реки Кай превышают данные показатели для эпителиоцитов I типа в нефронах обыкновенного сома (табл. 6).

Эпителиоциты II типа проксимального канальца по структуре подобны эпителиоцитам I типа, но меньше таковых по высоте (табл. 7). Отличительной структурной особенностью эпителиоцитов II типа является отсутствие в зоне эндоцитоза электронно-плотных секреторных гранул. Щеточная каемка сформирована микроворсинками (рис. 3: *А, Б*). Внутри рассматриваемого типа наименьшие размеры эпителиоцитов, ядер и митохондрий, количество митохондрий, наименьшая протяженность зоны эндоцитоза обнаружены в нефронах обыкновенного сома (табл. 7).

У всех исследованных видов дистальные канальцы сомообразных формируют клетки одного типа – клетки с лопастевидными выростами, имеющие равные края, апикальная поверхность которых несет микроворсинки (рис. 3: *Г, Ж, З*). В базальной части эпителиоцитов обыкновенного сома гладкий эндоплазматический ретикулум представлен одиночными тяжами, тянущимися вдоль оси клеток, между которыми встречаются одиночные везикулы (рис. 3: *Д, Е*). В эпителиоцитах видов реки Кай гладкий эндоплазматический ретикулум развит в большей степени, с большим количеством везикул (рис. 3: *В*). Высота и площадь эпителиоцитов, площадь ядер, площадь и количество митохондрий в клетках обыкновенного сома меньше по сравнению с видами реки Кай (табл. 8).

Таблица 4 – Морфометрические параметры почечного тельца

Тип структуры	Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
	<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Площадь, мкм ²	2036 ± 326 ¹	4201 ± 721 ²	4938 ± 269 ²	4931 ± 151 ²
Мочевое пространство, мкм	2,44 ± 0,24	3,19 ± 0,59	3,48 ± 0,18	3,76 ± 0,16
Толщина базальной мембраны, мкм	0,27 ± 0,03	0,34 ± 0,05	0,40 ± 0,04	0,30 ± 0,11
Площадь клеток плоского эпителия, мкм ²	20,5 ± 1,15 ¹	69,6 ± 0,27 ²	81,7 ± 0,50 ²	101,1 ± 9,19 ²
Площадь подоцитов, мкм ²	11,9 ± 1,01 ¹	14,0 ± 1,82 ¹	12,0 ± 1,24 ¹	17,7 ± 1,34 ²
Капилляры, d	11,6 ± 0,38	12,9 ± 1,71	11,9 ± 0,06	10,9 ± 1,65

Таблица 5 – Морфометрические параметры эпителиоцитов шеечного отдела

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Клетка	площадь, мкм ²	36,3 ± 5,77	37,7 ± 3,10	42,7 ± 0,89	50,6 ± 2,80
	высота, мкм	9,91 ± 1,01	8,98 ± 0,78	9,73 ± 0,47	10,1 ± 0,78
Ядро	площадь, мкм ²	5,67 ± 1,48 ¹	11,4 ± 1,93 ²	8,39 ± 0,32 ¹	13,9 ± 1,12 ²
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,28 ± 0,25 ¹	1,40 ± 0,19 ²	1,39 ± 0,17 ²	1,37 ± 0,64 ²
	количество	8,20 ± 0,96 ¹	11,80 ± 1,24 ²	11,0 ± 0,79 ²	11,8 ± 1,79 ²
Ширина канальцев ГЭР, мкм		0,04 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Длина щеточной каемки, мкм		4,75 ± 0,24	4,66 ± 0,10	4,66 ± 0,42	5,32 ± 0,78
Реснички (d), мкм		0,23 ± 0,00	0,20 ± 0,00	0,20 ± 0,00	0,21 ± 0,01

Таблица 6 – Морфометрические параметры эпителиоцитов I типа проксимального канальца

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Клетка	площадь, мкм ²	49,9 ± 2,15 ¹	84,9 ± 2,70 ²	76,2 ± 1,55 ²	89,5 ± 3,26 ²
	высота, мкм	14,7 ± 0,69 ¹	18,5 ± 0,37 ²	19,0 ± 0,36 ²	19,9 ± 1,25 ²
Ядро	площадь, мкм ²	9,87 ± 0,78 ¹	17,9 ± 3,14 ²	14,9 ± 2,58 ²	14,4 ± 2,00 ²
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,74 ± 0,16	0,58 ± 0,26	0,53 ± 0,27	0,50 ± 0,09
	количество	13,8 ± 0,99 ¹	19,7 ± 0,09 ²	19,7 ± 1,53 ²	17,0 ± 0,91 ²
Секреторные гранулы	площадь, мкм ²	2,23 ± 0,21	1,25 ± 0,10	1,44 ± 0,25	1,40 ± 0,08
	количество	9,00 ± 2,12	11,0 ± 4,64	11,0 ± 2,32	13,8 ± 1,85
Ширина канальцев ГЭР, мкм		0,04 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,01
Зона эндоцитоза, мкм		4,23 ± 0,42	5,73 ± 0,88	5,63 ± 0,53	5,97 ± 0,23
Длина щеточной каемки, мкм		3,63 ± 0,56	3,51 ± 0,34	3,11 ± 0,22	3,88 ± 0,12
Реснички (d), мкм		0,21 ± 0,00	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,22 ± 0,01
Микроворсинки (d), мкм		0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,12 ± 0,00

Таблица 7 – Морфометрические параметры эпителиоцитов II типа проксимального канальца

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Клетка	площадь, мкм ²	37,8 ± 3,78 ¹	69,4 ± 2,77 ²	62,8 ± 1,05 ²	71,3 ± 1,94 ²
	высота, мкм	13,0 ± 0,47 ¹	15,5 ± 1,03 ²	16,2 ± 0,50 ²	17,2 ± 0,05 ²
Ядро	площадь, мкм ²	13,5 ± 0,59 ¹	15,9 ± 5,37 ²	14,5 ± 2,72 ²	12,1 ± 1,34 ²
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,15 ± 0,04	0,79 ± 0,12	0,78 ± 0,10	0,70 ± 0,10
	количество	11,0 ± 0,71 ¹	22,0 ± 2,74 ²	21,8 ± 1,55 ²	23,1 ± 1,36 ²
Ширина канальцев ГЭР, мкм		0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,05 ± 0,00
Зона эндоцитоза, мкм		2,16 ± 0,19 ¹	3,41 ± 0,59 ²	3,34 ± 0,27 ²	3,48 ± 0,16 ²
Длина щеточной каемки, мкм		1,27 ± 0,12	1,78 ± 0,30	1,66 ± 0,10	1,12 ± 0,14 ²
Реснички (d), мкм		0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,22 ± 0,00	0,22 ± 0,01
Микроворсинки (d), мкм		0,19 ± 0,01 ¹	0,14 ± 0,01 ²	0,13 ± 0,01 ²	0,11 ± 0,01 ²

Таблица 8 – Морфометрические параметры эпителиоцитов дистального канальца

Тип структуры		Рыбинское вдхр.	Р. Кай		
		<i>S. glanis</i>	<i>C. batrachus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>M. gulio</i>
Клетка	площадь, мкм ²	64,3 ± 2,76 ¹	86,0 ± 2,46 ²	84,1 ± 5,86 ²	104,2 ± 2,46 ²
	высота, мкм	15,5 ± 1,73 ¹	19,6 ± 0,44 ²	18,8 ± 0,62 ²	20,6 ± 1,30 ²
Ядро	площадь, мкм ²	6,73 ± 1,72 ¹	11,3 ± 0,92 ²	11,9 ± 1,25 ²	10,4 ± 1,07 ²
Митохондрии	площадь, мкм ²	0,49 ± 0,12 ¹	1,02 ± 0,17 ²	0,82 ± 0,13 ²	1,23 ± 0,24 ²
	количество	22,8 ± 2,28 ¹	29,4 ± 1,82 ²	28,0 ± 2,62 ²	30,8 ± 2,23 ²

Обсуждение

Ультраструктура лимфоцитов, макрофагов, эозинофилов, КРВ, палочковых, плазматических и ионтранспортирующих клеток сомообразных не имеет каких-либо видовых особенностей, по сравнению с другими видами пресноводных костистых рыб отрядов карпообразные и окунеобразные. Специфические гранулы нейтрофилов сомообразных сходны с окунеобразными и отличаются от карпообразных ультраструктурой специфических гранул [13]. Подобные гранулы веретеновидной формы и фибриллярной структуры ранее были описаны в пронефросе обыкновенного сома *S. glanis*, в периферической крови сисоридного сома *Glyptosternum maculatum* (Regan, 1905) и канального сомика *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818) [14–16].

Общая схема строения нефрона соответствует таковой, описанной для пресноводных карпообразных [13]. Наличие шеечного отдела указывает на большее сходство ультраструктуры нефрона сомообразных с

нефроном лососеобразных по сравнению с карпообразными [13; 17]. Следует учесть, что отряд Siluriformes, так же, как и отряд Cypriniformes относятся к когорте Otomorpha, тогда как отряд Salmoniformes относят к когорте Euteleosteiomorpha [18]. При этом в проксимальных канальцах сомообразных отсутствуют вставочные (реснитчатые клетки), которые характерны для проксимальных канальцев карпообразных и по ультраструктуре подобны клеткам шеечного отдела [13]. Можно предположить, что эволюция функции транспорта ультрафильтрата происходила двумя путями. Первый путь заключался в специализации конкретного участка нефрона для реализации данной функции. Второй путь – субституция шеечного отдела специализированными вставочными клетками, распределенными по всей длине проксимального канальца, что привело к увеличению числа функций, закрепленных за одной морфологической структурой – проксимальным канальцем.

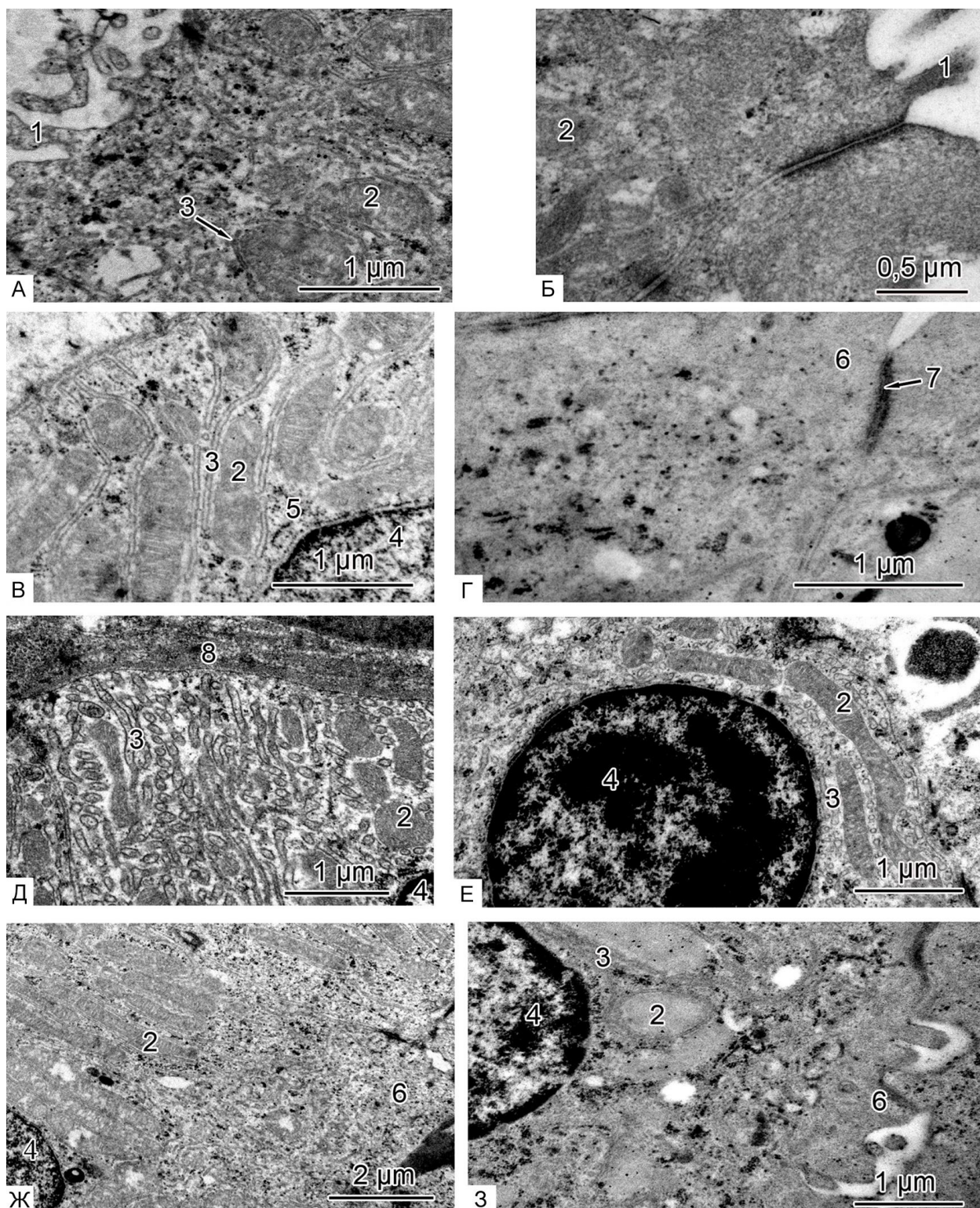


Рисунок 3 – Ультраструктура проксимальных канальцев и дистальных канальцев сомообразных.

Апикальная часть эпителиоцита II типа проксимальных канальцев *M. gulio* (А),
апикальная часть эпителиоцита II типа проксимальных канальцев *S. glanis* (Б),
базальная часть эпителиоцита дистального канальца *S. glanis* (В),
апикальная часть эпителиоцита дистального канальца *S. glanis* (Г),
базальная часть эпителиоцита дистального канальца *M. gulio* (Д),
базальная часть эпителиоцита дистального канальца *C. batrachus* (Е),
апикальная часть эпителиоцита дистального канальца *C. batrachus* (Ж),
апикальная часть эпителиоцита дистального канальца *C. gariepinus* (З).

Основные структурные компоненты: микроворсинки эпителиоцита (1), митохондрия (2),
гладкий эндоплазматический ретикулум (3), ядро (4), шероховатый эндоплазматический ретикулум (5),
лопастевидный вырост (6), межклеточный контакт (7), базальная мембрана (8)

Еще одна отличительная черта нефронов сомообразных – наличие в зоне эндоцитоза хорошо развитого тубулярного ретикулума, образующего петли. Ранее было показано, что в наиболее близких участках проксимальных канальцев с помощью рецептор-опосредованного эндоцитоза происходит поглощение аминокислот. Кроме того, содержащееся в трубках, в зоне эндоцитоза, обнаруживает ПАС положительную реакцию, что указывает на активный транспорт полисахаридов [19]. Наличие хорошо развитого тубулярного ретикулума зоны эндоцитоза проксимальных канальцев, отвечающего за транспорт макромолекул, вероятно связано с образом жизни исследованных видов. Обыкновенный сом *S. glanis*, клариевые сомы *C. batrachus*, *C. gariepinus* ведут донный образ жизни, длинноусый сомик *M. gulio* – донно-пелагический вид. Это хищники с широким спектром питания. Так, например, значительную долю в питании *S. glanis* волжского бассейна составляют речные раки (*Astacus* sp.), лягушки. В пищевых комках присутствует плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) и окунь *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758. Более крупные особи питаются судаком *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), лещом *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), сазаном *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758, жерехом *Aspius aspius* (Linnaeus, 1758) [20].

При рассмотрении зависимости морфометрических показателей клеток интерстиция от обитания рыб в различных климатических поясах показано, что для видов реки Кай характерны более крупные лейкоциты с большим количеством более крупных митохондрий по сравнению с обыкновенным сомом, обитающим в верхней Волге. Зависимости морфометрических показателей КРВ и палочковых клеток от обитания рыб в различных климатических поясах не обнаружено.

Также обнаружены различия в размерах структур нефрона и ионocyтах интерстиция сомообразных разных климатических поясов. У сомов реки Кай по сравнению с обыкновенным сомом зарегистрированы более крупные размеры почечных телец, больший внешний диаметр канальцев, большая площадь и количество митохондрий на срезах эпителиоцитов всех типов канальцев и ионотранспортирующих клеток, более крупные и высокие эпителиоциты проксимальных и дистальных канальцев, а также ионocyты интерстиция. Как было отмечено выше, обитание в условиях высоких температур окружающей среды влечет стимулирование водно-солевого обмена с большим поглощением кислорода митохондриями [8; 21]. В опытах с адаптоцитами показано, что увеличение температуры влияет на повышение проницаемости мембраны для ионов K^+ и Ca^{2+} и усиления фосфорилирования мембранных белков [22]. Реализация данного механизма в ионотранспортирующих клетках и эпителиоцитах канальцев сомообразных субэкваториального пояса выражается в увеличении площади митохондрий по сравнению с *S. glanis* умеренного пояса. Крупные размеры почечных телец и эпителиоцитов канальцев связаны с более высокой интенсивностью водного обмена в организме, который в свою очередь необходим для поглощения кислорода из большего объема воды для поддержания нормального парциального давления кислорода в крови [23].

Выводы

1. Ультраструктура клеток интерстиция Siluriformes подобна таковой пресноводных костистых рыб отрядов Cypriniformes и Perciformes. Нейтрофилы сомообразных, по структурным признакам вторичных гранул, схожи с окунеобразными.

2. Наличие шеечного отдела указывает на большее сходство ультраструктуры нефрона сомообразных с нефроном лососеобразных по сравнению с карпообразными. Это отражает один из путей эволюции функции транспорта ультрафильтрата.

3. Наличие в зоне эндоцитоза хорошо развитого тубулярного ретикулума, образующего петли, характеризует тип питания *S. glanis*, *C. batrachus*, *C. gariepinus*, *M. gulio*.

4. Ультраструктура мезонефроса сомообразных субэкваториального пояса отличается от таковой у *S. glanis* умеренного пояса морфометрическими характеристиками лейкоцитов, ионотранспортирующих клеток, структурных единиц почечных телец и канальцев нефрона. Эти морфологические признаки отражают различия в интенсивности водного обмена в организме и являются адаптацией к обитанию в условиях среднегодовых высоких температур.

Список источников:

1. Корниенко М.С. Структурно-функциональная характеристика ионocyтов жабр и почки некоторых видов рыб при изменении солёности окружающей среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2008. 23 с.
2. Металлов Г.Ф. Физиолого-биохимические механизмы эколого-адаптационной пластичности осморегулирующей системы осетровых рыб: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Астрахань, 2002. 46 с.
3. Наточин Ю.В. Эволюция водно-солевого обмена: от феноменологии к механизмам физиологической функции // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2002. Т. 38, № 5. С. 460–468.
4. Микряков В.Р. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: Изд-во «Рыбинская типография», 1991. 151 с.
5. Кондратьева И.А., Китапова А.А., Ланге М.А. Современное представление об иммунной системе рыб. Часть I. Организация иммунной системы рыб // Вестник Московского университета. Сер. 16. Биология. 2001. № 4. С. 11–20.
6. Солдатов А.А. Особенности организации и функционирования системы красной крови рыб // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2005. Т. 41, № 3. С. 217–223.
7. Грушко М.П. Клеточный состав кроветворных органов половозрелых самок представителей класса рыб, земноводных и пресмыкающихся: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Астрахань, 2010. 43 с.
8. Бабаев А.Х. Роль митохондрий почек в регулировании водно-солевого обмена: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ашхабад, 1971. 42 с.
9. Пучков Н.В. Физиология рыб. М.; Л.: Изд-во «Пищепромиздат», 1941. 300 с.
10. Законнова А.В. Климатические изменения термического режима Рыбинского водохранилища // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2021. Вып. 94 (97). С. 7–16.
11. Экология внутренних вод Вьетнама / под ред. Д.С. Павлова, Д.Д. Зворыкина. М.: Изд-во «Товарищество научных изданий КМК», 2014. 435 с.

12. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, № 1. P. 1–9.
13. Флёрова Е.А. Клеточная организация почек костистых рыб (на примере отрядов Суприниформес и Перциформес). Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2012. 138 с.
14. Флёрова Е.А., Елизаров М.Е. Ультратонкое строение клеток лимфо-миелоидной ткани пронефроса обыкновенного сома *Silurus glanis* L. // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2012. № 4. С. 44–49.
15. Cannon M.S., Mollenhauer H.H., Eurell T.E., Lewis D.H., Cannon A.M., Tompkins C. An ultrastructural study of the leucocytes of the channel catfish (*Ictalurus punctatus*) // *Journal of Morphology*. 1980. Vol. 164, iss. 1. P. 1–23. DOI: 10.1002/jmor.1051640102.
16. Zhang H.J., Xie C.X., Li D.P., Yang X.F. Blood cells of a sisorid catfish *Glyptosternum maculatum* (Siluriformes: Sisoridae), in Tibetan Plateau // *Fish Physiology and Biochemistry*. 2011. Vol. 37, № 1. P. 169–176. DOI: 10.1007/s10695-010-9429-0.
17. Flerova E.A., Yurchenko V.V., Morozov A.A., Evdokimov E.G., Bogdanova A.A., Alekseev M.Yu., Sendek D.S., Titov S.F. Histology and ultrastructure of the nephron and kidney interstitial cells in the Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus 1758) at different stages of life cycle // *Biology*. 2023. Vol. 12, № 5. P. 750. DOI: 10.3390/biology12050750.
18. Betancur-R.R., Wiley E.O., Arratia G., Acero A., Bailly N., Miya M., Lecointre G., Guillermo O. Phylogenetic classification of bony fishes // *BMC Evolutionary Biology*. 2017. Vol. 17, № 1. P. 162. DOI: 10.1186/s12862-017-0958-3.
19. Аминев В.А. Яржомбек А.А. Физиология рыб. М.: Изд-во «Легкая и пищевая промышленность», 1984. 200 с.
20. Кузищин К.В., Груздева М.А., Павлов Д.С. Особенности биологии европейского сома *Silurus glanis* из Волго-Ахтубинской водной системы, нижняя Волга // *Вопросы ихтиологии*. 2018. Т. 58, № 6. С. 684–695.
21. Fangue N.A., Richards J.G., Schulte P.M. Do mitochondrial properties explain intraspecific variation in thermal tolerance? // *Journal of Experimental Biology*. 2009. Vol. 212, № 4. P. 514–522. DOI: 10.1242/jeb.024034.
22. Пономарева Е.Г., Черкасова О.А., Симоненко Г.В., Тучин В.В., Никитина В.Е. Воздействие бактериального лектина и повышенной температуры на адипоциты // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14, № 1. С. 283–287.
23. Солдатов А.А. Влияние экспериментальной гипотермии на состояние капиллярной сети скелетных мышц морских рыб // *Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов*. Петрозаводск: Изд-во Института биологии КарНЦ РАН, 2010. С. 278–282.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Флёрова Екатерина Александровна, кандидат биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных, проректор по научной работе; Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова (г. Ярославль, Российская Федерация). E-mail: katarinum@mail.ru.	Flerova Ekaterina Aleksandrovna, candidate of biological sciences, professor of Human and Animal Sciences Department, vice-rector for research; P.G. Demidov Yaroslavl State University (Yaroslavl, Russian Federation). E-mail: katarinum@mail.ru.

Для цитирования:

Флёрова Е.А. Особенности ультраструктуры мезонефроса представителей отряда Сомообразные (Siluriformes) разных климатических поясов // *Самарский научный вестник*. 2025. Т. 14, № 2. С. 44–54. DOI: 10.55355/snv2025142106.