

Оригинальная научная статья  
УДК 639.3: 597.4/.5: 612.32 (470.317)  
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01>



**Морфологическая и функциональная характеристика  
лимфоидной ткани среднего отдела кишечника осетровых видов рыб  
на примере стерляди (*Acipenser ruthenus*)**

**Никита Ильич Кочетков<sup>1</sup>, Дмитрий Львович Никифоров-Никишин<sup>1</sup>,  
Кирилл Владимирович Гаврилин<sup>2</sup>, Антон Андреевич Белинский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет технологий  
и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

<sup>2</sup>Национальный фонд экологической защиты и развития Крайнего Севера  
и приравненных к ним местностей «Якутия», Республика Якутия, Якутск, Россия

<sup>3</sup>Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Никита Ильич Кочетков; [samatrixs@gmail.com](mailto:samatrixs@gmail.com)

**Аннотация**

В работе приведены результаты изучения гистологического строения и качественного состава клеточных элементов гемопоэтической ткани, ассоциированной со средним отделом кишечника стерляди (*Acipenser ruthenus*). Показано, что лимфоидная ткань кишечника стерляди включает в себя островки лимфоидной ткани, ограниченные ретикулярной тканью/слизистой оболочкой, а также лимфоциты, ассоциированные со слизистой оболочкой (интраэпителиальные) и с собственной пластиной слизистой кишечника (лимфоциты lamina propria). Дополнительно в ткани обнаружены эозинофильные клетки. В слизистой оболочке кишечника наиболее встречаемым типом клеток являлись интраэпителиальные лимфоциты (8,9 кл/100 мкм) и лимфоциты lamina propria (7,1 кл/100 мкм). На мазках лимфоидной ткани кишечника стерляди были обнаружены следующие типы клеток лимфоидного ряда (в порядке убывания): лимфоциты (64,4%), пролимфоциты (6,5%), плазмоциты (3,9%), лимфобласты (2,9%) и проплазмоциты (1,5%). Морфометрические изменения в ряду лимфатических клеток на мазках лимфоидной ткани выражались в уменьшении размеров ядра и цитоплазмы. Морфология, качественный состав клеток, а также функциональных характеристик позволили отнести лимфоидную ткань кишечника стерляди к кишечечно-ассоциированной лимфоидной ткани. Полученные результаты могут быть использованы для оценки иммунного статуса культивируемых рыб, определения эффективности иммуномодулирующих кормов и кормовых добавок, для мониторинга и диагностики диких популяций рыб, а также могут способствовать пониманию эволюции лучеперых рыб.

**Ключевые слова**

гистология, морфология, цитология, желудочно-кишечный тракт, средний отдел кишечника, осетровые, лимфоциты, морфологическая характеристика лимфоидной ткани, функциональная характеристика лимфоидной ткани, стерлядь, *Acipenser ruthenus*

**Для цитирования**

Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Гаврилин К.В., Белинский А.А. Морфологическая и функциональная характеристика лимфоидной ткани среднего отдела кишечника осетровых видов рыб на примере стерляди (*Acipenser ruthenus*). *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531401. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01>



## Morphological and functional characteristics of lymphoid tissue in the midgut of sturgeon fish species: a case study of the sterlet (*Acipenser ruthenus*)

Nikita I. Kochetkov<sup>1</sup>, Dmitry L. Nikiforov-Nikishin<sup>1</sup>, Kirill V. Gavrilin<sup>2</sup>, Anton A. Belinsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Moscow, Russia

<sup>2</sup> National Fund for Environmental Protection and Development of the Far North and Equated Localities “Yakutia”, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Nikita I. Kochetkov; samatrixs@gmail.com

### Abstract

The paper presents the results of the study of the histological structure and qualitative composition of cellular elements of the haematopoietic tissue associated with the midgut of the sterlet (*Acipenser ruthenus*). It was shown that the lymphoid tissue of the sterlet intestine contains islands of lymphoid tissue bounded by reticular tissue/mucosa, as well as lymphocytes associated with the mucosa (intraepithelial) and with the intestinal mucosal plate (lamina propria lymphocytes). Eosinophilic cells were also found in the tissue. The most common cell types in the intestinal mucosa were intraepithelial lymphocytes (8.9 cell/100  $\mu\text{m}$ ) and lamina propria lymphocytes (7.1 cell/100  $\mu\text{m}$ ). Smears of sterlet intestinal lymphoid tissue showed the following lymphoid cell types (in descending order): lymphocytes (64.4%), prolymphocytes (6.5%), plasmacytes (3.9%), lymphoblasts (2.9%) and proplasmacytes (1.5%). Morphometric changes in a number of lymphoid cells in lymphoid tissue smears were expressed as a decrease in the size of the nucleus and cytoplasm. The morphology, qualitative cell composition and functional characteristics allowed the classification of the lymphoid tissue of the sterlet intestine as intestine-associated lymphoid tissue. The results obtained can be used to assess the immune status of cultured fish, to determine the effectiveness of immunomodulatory feeds and feed additives, to monitor and diagnose wild fish populations, and to contribute to the understanding of the evolution of ray-finned fish.

### Key words

histology, morphology, cytology, gastrointestinal tract, midgut, sturgeon, lymphocytes, morphological characteristics of lymphoid tissue, functional characteristics of lymphoid tissue, sterlet, *Acipenser ruthenus*

### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

### Для цитирования

Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Gavrilin K.V., Belinsky A.A. Morphological and functional characteristics of lymphoid tissue in the midgut of sturgeon fish species: a case study of the sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531401. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01

### Введение

#### Introduction

Рыбы представляют собой большую группу организмов, населяющих практически все известные водные экосистемы. Отряд осетрообразных (*Acipenseriformes*) является одним из наиболее древних представителей лучеперых рыб, сохранивших множество архаичных черт [1]. Среди них можно отметить наличие хрящевого эндоскелета, отсутствие полноценных тел позвонков, наличие спирального клапана в заднем отделе кишечника, а также присутствие диффузных очагов кроветворной ткани в различных органах (очаги гемопоэтической ткани вблизи сосудов печени, гемопоэтическая перикардальная ткань в сердце и гемопоэтическая менингеальная

ткань в хрящевых капсулах черепа) [2, 3]. Помимо этого, для осетровых характерно наличие очагов лимфоидной ткани, ассоциированной со слизистыми оболочками кишечника, кожи и жабр [4].

Гематологические показатели являются важным критерием при оценке состояния организма, так как объективно отражают его физиологический статус [5, 6]. Изменения в качественном и количественном составе клеточных элементов крови напрямую связаны с состоянием иммунитета рыбы. В свою очередь, активность гемопоэза также зависит от состояния рыбы и внешних факторов, однако состав клеток предшественников не всегда имеет линейную зависимость от действующего фактора [7]. В данное время существует большое количество работ, посвященных изучению клеточного

состава центральных периферических органов кровотока, а именно селезенки, переднего и туловищного отделов почки [8-10]. Однако, насколько нам известно, до сих пор было опубликовано очень мало исследований, в которых рассматривается качественный и количественный состав периферических органов гемопоэза [2, 11, 12].

Кишечник осетровых имеет некоторые отличия в сравнении с костистыми рыбами. В частности, у костистых видов рыб лимфоидная ткань кишечника имеет более диффузное строение и преимущественно располагается в собственной пластинке слизистой [15]. Морфологически и функционально его можно подразделить на передний, средний и задний отделы, при этом в заднем отделе располагается спиральный клапан. Дополнительно многими авторами уже отмечалось, что по всей протяженности кишечника у осетровых встречаются большие очаги лимфоидной ткани, которые предположительно являются участками лимфопоэза [2, 13, 14].

**Цель исследований:** изучить морфологию и оценить количественный состав лимфоидной ткани среднего отдела кишечника стерляди (*Acipenser ruthenus*).

## Методика исследований

### Research method

Для исследований отбирали 20 годовиков стерляди (*Acipenser ruthenus*) без видимых патологий массой от 80 до 120 г, которые были получены из Волгореченского рыбноводного хозяйства (Костромская область). Рыбы содержались в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), включавших в себя бассейны объемом 4000 л, оснащенных системами биологической (биофильтры 1000 л и 500 л) и механической фильтрации (Ейскполимер 402М), а также ультрафиолетовые установки (Jebao STU-400w). Работы производили на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки (УНУ) НТИ РФ Рег. № 3662433 «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)». Температура ( $20,3 \pm 1,1^\circ\text{C}$ ), содержание кислорода ( $8,2 \pm 0,3$  мг/л), водородный показатель ( $7,9 \pm 0,4$ ) находились в пределах нормы для данного вида рыб.

Перед проведением исследований рыбу усыпляли в растворе MS-222 (10 мг/л), после чего производили вскрытие. Пробы среднего отдела кишечника в объеме 1-5 г фиксировали в растворе Дэвидсона в течение 24 ч. Полученные образцы тканей обезжировали в серии градуированных спиртов и заливали в парафин. Из образцов тканей кишечника и печени изготавливали серийные срезы по 3 среза на один образец ( $n = 4 \times 3$ ). Окрашивание производилось гематоксилином

и эозином (H&E), периодической кислотой Шиффа (PAS). Подготовка и окрашивание гистологических срезов проводились в соответствии с методикой Suvarna [16]. Полученные препараты просматривали под световым микроскопом Olympus BX53 (Olympus Corporation, Япония, Токио) с окулярными насадками CarlZeiss ERc 5s (Zeiss, Германия, Оберкохен) и ToupCam 16.0 MP (ToupTek Photonics, Китай) с использованием программного обеспечения ZEN lite (Zeiss, Германия) и ToupCam view 16.0 (ToupTek Photonics, Китай).

Измерение гистоморфометрических показателей ткани производили с использованием программы Fiji ImageJ2 v2.15.0 (Wayne Rasband (NIH) [17]. В кишечнике стерляди измеряли следующие показатели: ширина собственной пластики слизистой (*lamina propria*), ширина подслизистой, количество эозинофилов, лимфоцитов *lamina propria* и интраэпителиальных лимфоцитов (подсчитывалось на 100 мкм слизистой оболочки кишечника). Подробное описание измеряемых морфометрических показателей приведено в более ранних исследованиях [18].

У особой стерляди отбирали участок среднего отдела кишечника протяженностью около 1 см. Далее его разрезали вдоль, чтобы обнажить слизистую оболочку, и тщательно промывали в физиологическом растворе (0,9% NaCl) для удаления остатков пищи. Полученную ткань кишечника разрезали на небольшие части и равномерно размазывали по предметному стеклу. От каждой из особей изготавливали по три мазка. Препарат высушивался в течение 2-3 мин, далее фиксировался в смеси Никифорова (1:1, метиловый спирт: диэтиловый эфир) при экспозиции в течение 2 мин, затем проводили окрашивание эозином метиленовым синим по Майн-Грюнвальду в течение 4 мин. Далее препараты промывали и высушивали, после чего проводили доокрашивание азур-эозином по Романовскому-Гимза в течение 10 мин (MGG).

На препаратах подсчитывали следующие клеточные элементы: лимфобласты, пролимфоциты, лимфоциты, проплазмоциты и плазмоциты. Эритроциты, моноциты, нейтрофилы подсчитывались вместе и относились к другим клеточным элементам. Определение клеток производили в соответствии с морфологическими характеристиками (отношение площади ядра/цитоплазмы, окраска цитоплазмы, структура хроматина ядра), описанными в работах Ивановой [19], Fijan [20] и Kondera [21]. Для каждого препарата просматривали не менее 50 полей зрения и подсчитывали не менее 400 клеток. После подсчета клеток их количество суммировали и высчитывали относительную долю каждого типа, выраженную в процентах. У определяемых клеток ( $n = 30$ ) измеряли длину и ширину ядра и цитоплазмы (клетки) с использованием программы Fiji ImageJ2.

Обработка статистических данных производилась с использованием R v 4.4.1 и RStudio. Распределение данных и однородность вариаций оценивали с использованием тестов Шапиро-Уилка и Левена.

Для морфометрических параметров значения ранжировали, а высокие и низкие – 2,5% (перцентили) – отбрасывали. Диапазон оставшихся значений использовали в качестве контрольного интервала согласно рекомендациям [22] для морфометрических измерений.

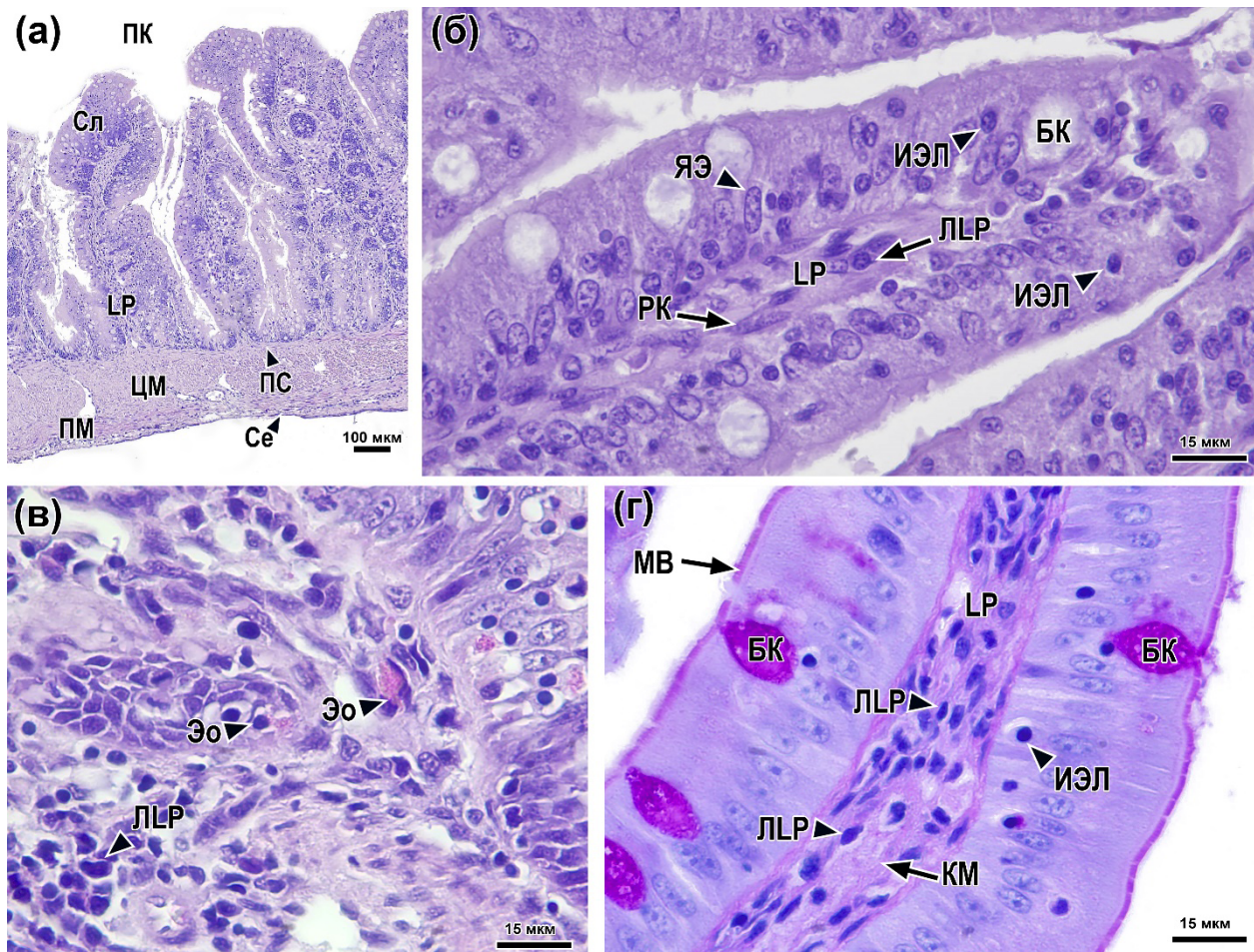
## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

Гистологическое строение кишечника стерляди было сравнимо с представителями костистых рыб. На препаратах четко просматривались ворсинки кишечника, покрытые слизистой оболочкой,

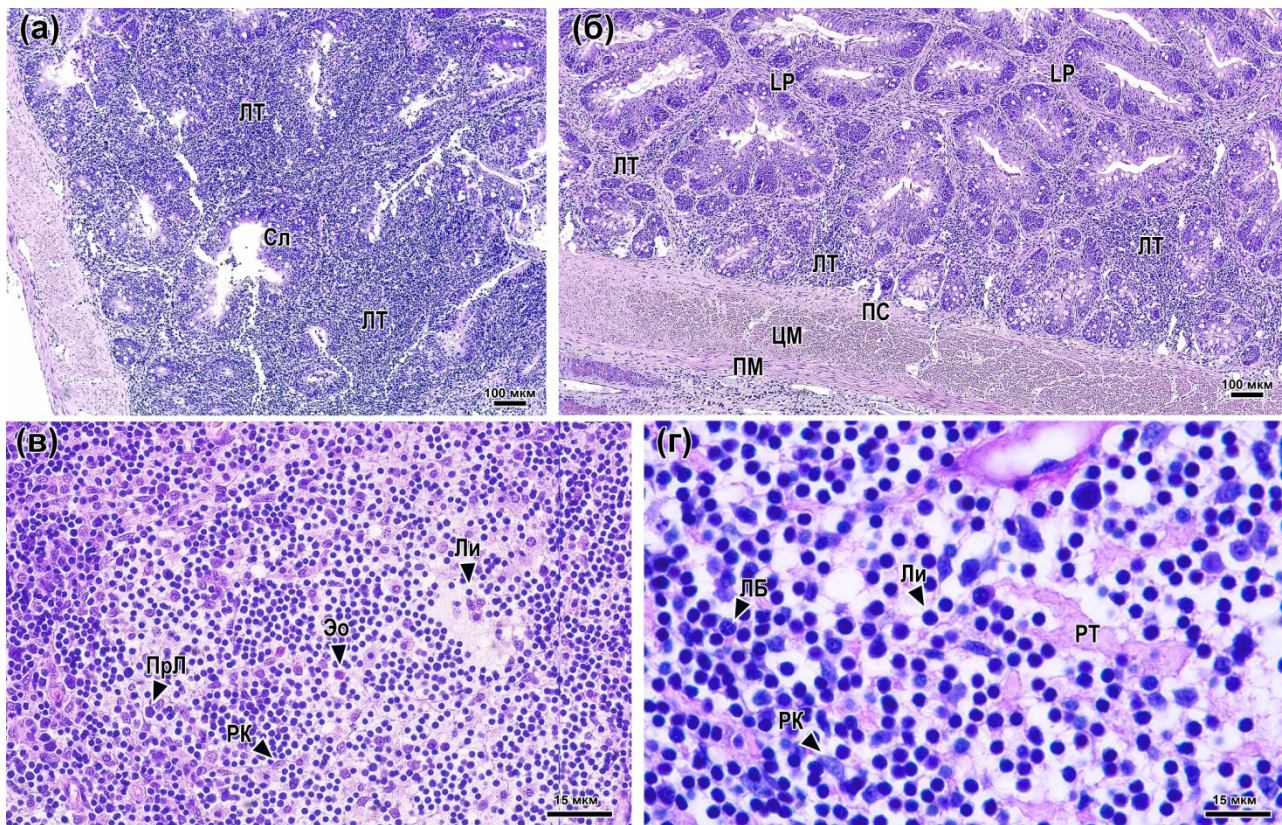
которая состояла из призматических эпителиоцитов (энтероцитов) и бокаловидных клеток. Помимо слоя слизистой, кишечник имел подслизистую, мышечную и серозную оболочки (рис. 1а). Мышечная оболочка включала в себя два слоя мышц, а именно циркулярную и продольную.

В центре ворсинок располагалась собственная пластинка слизистой (*lamina propria*), состоящая из ретикулярных клеток, коллагенового (ретикулярного) матрикса, в котором встречались различные иммунокомпетентные клетки (рис. 2б). Строма собственной пластинки слизистой образуется в результате деятельности ретикулярных клеток и окрашивается PAS-положительно (рис. 2г).



**Рис. 1.** Гистологические срезы среднего отдела кишечника стерляди:  
 ПК – просвет кишечника; Сл – слизистая оболочка; LP – lamina propria;  
 ЦМ – циркулярные мышечные волокна; ПМ – продольные мышечные волокна;  
 ПС – подслизистая оболочка; Се – серозная оболочка; ЯЭ – ядро эпителиоцита;  
 БК – бокаловидная клетка; КМ – клеточный матрикс; ИЭЛ – интраэпителиальные лимфоциты;  
 ЛЛР – лимфоцит lamina propria; РК – ретикулярная клетка; Эо – эозинофил.  
 Окраска Н&Е (а-в) и PAS (г).  
 Шкала масштаба 100 мкм (а) и 15 мкм (б-г)

**Fig. 1.** Histologic cross-sections of the midgut of the sterlet:  
 ПК – intestinal lumen; Сл – mucosa; LP – lamina propria; ЦМ – circular muscle fibers;  
 ПМ – longitudinal muscle fibers; ПС – submucosa; Се – serosa; ЯЭ – epitheliocyte nucleus;  
 БК – goblet cell; КМ – cell matrix; ИЭЛ – intraepithelial lymphocytes;  
 ЛЛР – lamina propria lymphocyte; РК – reticular cell; Эо – eosinophil.  
 H&E (а-в) and PAS (г) staining.  
 Scale bar of 100 μm (а) and 15 μm (б-г)



**Рис. 2.** Гистологические срезы среднего отдела кишечника стерляди:  
ЛТ – островки лимфоидной ткани; Сл – слизистая оболочка; LP – lamina propria;  
ЦМ – циркулярные мышечные волокна; ПМ – продольные мышечные волокна; ПС – подслизистая оболочка;  
РК – ретикулярная клетка; РТ – ретикулярная ткань; Эо – эозинофил; Ли – лимфоцит;  
ПрЛ – пролимфоцит. Окраска Н&Е (а-в) и PAS (г).  
Шкала масштаба 100 мкм (а, б) и 15 мкм (в, г)

**Fig. 2.** Histologic cross sections of the midgut of the sterlet:  
ЛТ – islets of lymphoid tissue; Сл – mucosa; LP – lamina propria;  
ЦМ – circular muscle fibers; ПМ – longitudinal muscle fibers; ПС – submucosa; РК – reticular cell;  
РТ – reticular tissue; Эо – eosinophil; Ли – lymphocyte; ПрЛ – prolymphocyte.  
H&E (а-в) and PAS (г) staining.  
Scale bar of 100 μm (а, б) and 15 μm (в, г)

Слизистая оболочка кишечника, по всей видимости, также участвует в формировании иммунного ответа, так как в ней обнаруживаются следующие иммунокомпетентные клетки. По всей площади слизистой наблюдались интраэпителиальные лимфоциты, которые могли располагаться как вблизи апикальной части энтероцитов, так и ближе к их основанию. Их количество варьировалось от 4 до 15 шт. на 100 мкм слизистой (табл. 1). В собственной оболочке слизистой, помимо ретикулярных клеток, также просматривались лимфоциты – лимфоциты lamina propria, встречаемость которых составляла 8,9 кл./100 мкм (рис. 2б, г). Лимфоциты кишечника имели базофильную окраску, а граница между ядром и цитоплазмой не просматривалась. Дополнительно в lamina propria отмечались эозинофильные клетки, имеющие ацидофильную гранулярную цитоплазму и округлое либо палочкообразное ядро (рис. 2в). Данные клетки могли располагаться небольшими группами до 3 клеток. В среднем встречалась одна клетка на 100 мкм слизистой.

Очаги лимфоидной ткани кишечника имели различные размеры. Так, из данных рисунка 2 (а) следует, что лимфоидная ткань заполняет большую часть ворсинок, при этом в ней имеются включения части слизистой оболочки. На других участках среза лимфоидная ткань занимала меньшую площадь, представляя собой расширение собственной пластинки слизистой и располагаясь в основании подслизистой оболочки (рис. 2б). Данные участки могли быть отделены от другой ткани соединительнотканым слоем, являющимся частью стромы, или быть разделены базальной мембраной слоя энтероцитов.

При детальном рассмотрении участков лимфоидной ткани видны: тяжи ретикулярной ткани, а также ретикулярные клетки, которые имеют амфифильную окраску и овальное или бобовидное ядро; клетки лимфопоэтического ряда (лимфобласты, пролимфоциты, лимфоциты), а также гранулярные клетки (эозинофилы, нейтрофилы) (рис. 2в, г). У лимфоцитов в зависимости от стадии зрелости могла просматриваться базофильная цитоплазма.

Таблица 1

**Гистоморфометрические параметры среднего отдела кишечника стерляди, связанные с лимфоидной тканью**

Параметр	$\bar{x} \pm s$	Медиана	CV	Min	Max	Референсный диапазон
Ширина lamina propria, мкм	20.99±2.05	21.63	9.77	9.0	47.2	16.97-25.01
Ширина подслизистой, мкм	25.50±3.71	23.90	14.55	12.7	59.3	18.23-32.77
Эозинофильные клетки, кл/100 мкм	1.01±0.11	1.00	10.81	0	3	0.8-1.23
Лимфоциты LP, кл/100 мкм	7.15±1.55	6.86	21.66	3	15	4.12-10.19
Интраэпителиальные лимфоциты, кл/ 100 мкм	8.97±0.64	9.15	7.13	4	15	7.72-10.23

**Примечание.** Min – минимальное значение; Max – максимальное значение; CV – коэффициент вариации; LP – lamina propria.

Table 1

**Histomorphometric parameters of the sterlet midgut, associated with lymphoid tissue**

Parameter	$\bar{x} \pm s$	Median	CV	Min	Max	Reference range
Width of lamina propria, $\mu\text{m}$	20.99±2.05	21.63	9.77	9.0	47.2	16.97-25.01
Width of submucosa, $\mu\text{m}$	25.50±3.71	23.90	14.55	12.7	59.3	18.23-32.77
Eosinophilic cells, cells /100 $\mu\text{m}$	1.01±0.11	1.00	10.81	0	3	0.8-1.23
Lymphocytes LP, cells /100 $\mu\text{m}$	7.15±1.55	6.86	21.66	3	15	4.12-10.19
Intraepithelial lymphocytes, cells / 100 $\mu\text{m}$	8.97±0.64	9.15	7.13	4	15	7.72-10.23

**Note.** Min – minimum value, Max – maximum value, CV – coefficient of variation, LP – lamina propria

Для оценки активности гемопоэза были изготовлены мазки кишечника стерляди (рис. 3а), на которых обнаружены следующие клетки: лимфобласты, имеющие крупное круглое ядро с рыхлым хроматином и окружающую клетку базофильную цитоплазму (рис. 3б); пролимфоциты, ядро которых имело крупные агрегаты хроматина и прерывистую цитоплазму (рис. 3в); лимфоциты, имеющие округлое ядро с единичными глыбками

хроматина и участками базофильной цитоплазмы (рис. 3г, д); проплазмоциты, имеющие овальное ядро с рыхлым хроматином и единичными включениями и базофильной цитоплазмой, занимающей >30% площади клетки (рис. 3е); плазмоциты, также имевшие овальное ядро с плотно упакованным хроматином, расположенное эксцентрично с более светлой цитоплазмой, отчетливо слабо окрашенной, парануклеарной зоной (рис. 3и).

Дополнительно на мазках обнаруживались плазмоцито-подобные клетки, которые обладали схожей морфологией ядра и цитоплазмы, однако имели меньшую площадь цитоплазмы (рис. 3ж) или нейтрофильную окраску (рис. 3з). Данные клетки относились к неопределенным.

На препаратах просматривались и единичные эритроциты, нейтрофилы, а также моноциты, встречаемость которых варьировала от 4,7 до 6,3%.

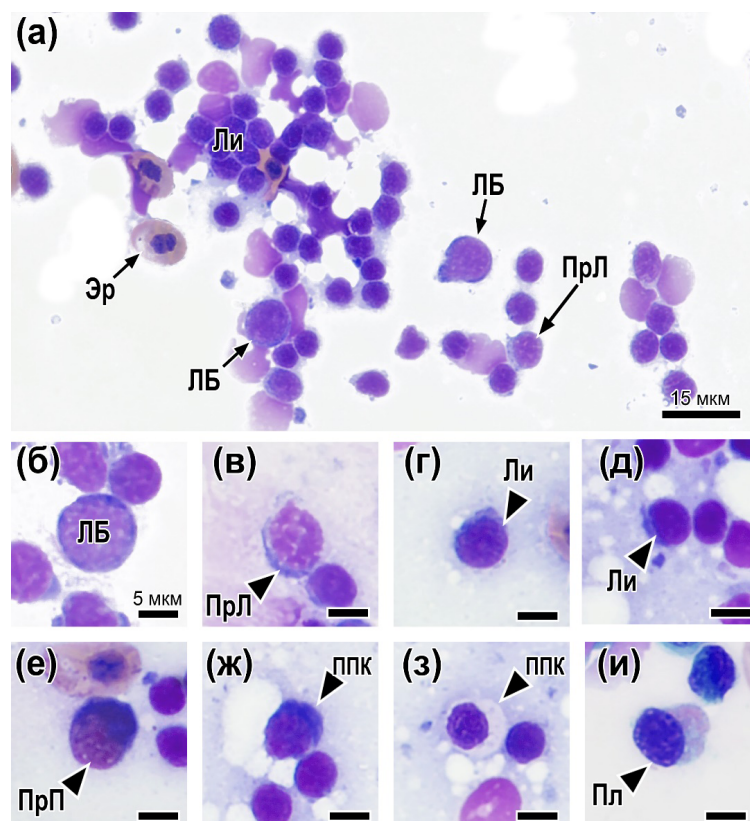
Наиболее часто обнаруживаемым типом клеток на мазках кишечника были лимфоциты, встречаемость которых составила 64,4% (табл. 2). Количество лимфобластов и пролимфоцитов было существенно меньше – 2,7 и 6,5% соответственно. В сумме лимфатические клетки составляли от 62 до 68% от общего числа клеток.

Относительная встречаемость плазмоцитов на препаратах находилась в пределах от 3,5 до 4,4%. При этом проплазмоциты являлись наименее часто обнаруживаемым типом клеток, а их относительное количество значительно варьировало (коэффициент вариации – 18,9%). Сумма проплазмо-

цитов и плазмоцитов составляла 5,4% от общего числа клеток.

Другие клеточные элементы (эритроциты, моноциты, нейтрофилы) встречались на препаратах в количестве 16,1%. Важно отметить, что наибольшую часть из этих клеток составляли эритроциты, а моноциты и нейтрофилы занимали <1% (данные не приведены). Количество плазмоцито-подобных клеток, а также других клеточных элементов, не подлежащих дифференцировке, не превышало 5,1%.

Измерение морфометрических характеристик лимфоидных клеток позволило установить, что в ряду лимфобласт-пролимфоцит-лимфоцит происходит постепенное уменьшение размеров ядра и цитоплазмы (табл. 3). В частности, длина и ширина клетки лимфобласта составляли 8,0 и 7,9 мкм, а у лимфоцита – уже 5,16 и 4,78 мкм. У плазмоцитов наблюдалась схожая закономерность, которая, однако, была менее выражена. Длина ядра проплазмоцита составляла 6,08 мкм, а у плазмоцита – 5,4 мкм. Показатель ширины клетки проплазмоцита и плазмоцита находился на одном уровне.



**Рис. 3.** Клетки лимфоидного ряда, обнаруживаемые на мазках кишечника стерляди:

ЛБ – лимфобласт; ПрЛ – пролимфоцит; Ли – лимфоцит;

ПрП – проплазмоцит; Пл – плазмоцит; ППК – плазмоцито-подобная клетка.

Шкала масштаба 15 мкм (а) и 5 мкм (б-и)

**Fig. 3.** Lymphoid cells found on smears of sterlet intestine:

ЛБ – lymphoblast; ПрЛ – prolymphocyte; Ли – lymphocyte;

ПрП – proplasmocyte; Пл – plasmocyte; ППК – plasmocyte-like cell.

Scale bars of 15 μm (a) and 5 μm (б-и)

Таблица 2

**Относительная встречаемость клеток, обнаруживаемых на мазках кишечника стерляди**

Тип клеток	$\bar{x}\pm s$	Медиана	CV	Min	Max
Лимфобласт (ЛБ)	2.79±0.21	2.85	7.53	2.26	3.01
Пролимфоцит (ПрЛ)	6.58±0.5	6.61	7.60	5.28	7.32
Лимфоцит (Ли)	64.45±1.52	63.78	2.36	62.97	67.92
Лимфатические клетки	73.82±1.25	73.19	1.69	72.47	76.10
Проплазмоцит (ПрП)	1.53±0.29	1.51	18.95	1.02	1.90
Плазмоцит (Пл)	3.96±0.27	3.91	6.82	3.53	4.43
Плазматические клетки	5.49±0.5	5.42	9.11	4.71	6.33
Другие клетки*	16.13±0.88	16.33	5.46	14.34	17.29
Неопределенные**	4.55±0.5	4.62	10.99	3.57	5.11

\*Другие клетки включали в себя эритроциты, моноциты, нейтрофилы, встречаемость которых была ниже 1%.

\*\*К неопределенным клеткам относятся плазмocyто-подобные клетки, а также другие клеточные элементы, не подлежащие дифференцировке.

Table 2

**Relative occurrence of cells detected on sterlet intestinal smears**

Cell type	$\bar{x}\pm s$	Median	CV	Min	Max
Lymphoblast (ЛБ)	2.79±0.21	2.85	7.53	2.26	3.01
Prolymphocyte (ПрЛ)	6.58±0.5	6.61	7.60	5.28	7.32
Lymphocyte (Ли)	64.45±1.52	63.78	2.36	62.97	67.92
Lymphatic cells	73.82±1.25	73.19	1.69	72.47	76.10
Proplasmocyte (ПрП)	1.53±0.29	1.51	18.95	1.02	1.90
Plasmocyte (Пл)	3.96±0.27	3.91	6.82	3.53	4.43
Plasma cells	5.49±0.5	5.42	9.11	4.71	6.33
Other cells*	16.13±0.88	16.33	5.46	14.34	17.29
Unclassified**	4.55±0.5	4.62	10.99	3.57	5.11

\* Other cells included erythrocytes, monocytes, and neutrophils, the occurrence of which was less than 1%; \*\* Unclassified cells included plasmocyte-like cells, as well as other cellular elements not subject to differentiation.



Таблица 3

**Размеры ядра и цитоплазмы клеток, обнаруживаемые на мазках кишечника стерляди**

Тип клетки	Ядро		Клетка	
	Длина, мкм	Ширина, мкм	Длина, мкм	Ширина, мкм
Лимфобласт (ЛБ)	7.1±0.84	6.7±0.8	8.06±1.27	7.98±0.68
Пролимфоцит (ПрЛ)	5.4±0.69	5.76±1.15	6.41±0.78	5.66±1.03
Лимфоцит (Ли)	4.84±1.06	4.45±0.95	5.16±0.61	4.78±0.59
Проплазмоцит (ПрП)	6.08±1.82	4.71±0.58	6.25±1.23	6.46±0.89
Плазмоцит (Пл)	5.45±1.01	4.64±1.36	5.68±1.06	6.74±0.85

Table 3

**Nucleus and cytoplasm size of cells detected on sterlet intestinal smears**

Cell type	Nuclei		Cell	
	Length, $\mu\text{m}$	Width, $\mu\text{m}$	Length, $\mu\text{m}$	Width, $\mu\text{m}$
Lymphoblast (ЛБ)	7.1±0.84	6.7±0.8	8.06±1.27	7.98±0.68
Prolymphocyte (ПрЛ)	5.4±0.69	5.76±1.15	6.41±0.78	5.66±1.03
Lymphocyte (Ли)	4.84±1.06	4.45±0.95	5.16±0.61	4.78±0.59
Proplasmocyte (ПрП)	6.08±1.82	4.71±0.58	6.25±1.23	6.46±0.89
Plasmocyte (Пл)	5.45±1.01	4.64±1.36	5.68±1.06	6.74±0.85

Изучение морфологических и физиологических аспектов иммунитета у осетровых рыб имеет большое фундаментальное значение, в частности, для понимания эволюции лучеперых рыб, а также прикладное применение в аквакультуре и при реализации природоохранных мероприятий [4]. Полученные результаты могут быть использованы для оценки иммунного статуса культивируемых рыб, определения эффективности иммуномодулирующих кормов и кормовых добавок,

а также для мониторинга и диагностики диких популяций рыб. Результаты исследований расширяют существующие представления о морфологической организации лимфоидной ткани кишечника и детализируют данные о ее клеточном составе. Результаты подсчета клеточных элементов и описание строения лимфоидной ткани стерляди сходится с ранее приведенными данными для амурского осетра (*Acipenser schrenckii*) [12], севрюги (*A. stellatus*) и белуги (*Huso huso*) [2].

Различие размеров и локализации лимфоидной ткани кишечника у осетровых видов в сравнении с костистыми рыбами может быть архаичной чертой организации ткани. Известно, что лимфоидная ткань кишечника или кишечно-ассоциированные лимфоидные ткани (КАЛТ) являются местом дифференциации лимфоцитов и концентрации антигенов, которые в совокупности обеспечивают гомеостаз между организмом и микробиомом кишечника [23]. Лимфоциты в слизистой оболочке кишечника преимущественно представлены В-клетками и Т-клетками, которые играют важную роль в презентации антигенов и реализации гуморального иммунитета [24]. Установлено наличие локусов рецепторов В и Т-клеток (TCRs) у костистых рыб и хрящевых ганоидов [4]. Таким образом, вероятный путь созревания и миграции лимфоцитов включает в себя: (1) развитие первичных клеток предшественников в тимусе или головной почке; (2) миграцию зрелых лимфоцитов или бластных форм клеток в лимфоидную ткань слизистых; (3) депонирование и/или дальнейшую трансформацию лимфоцитов в ходе иммунного ответа [3]. Обнаружение у стерляди развитой кишечно-ассоциированной лимфоидной ткани (КАЛТ) со структурой и клеточным составом, сходными с таковыми у других позвоночных животных, а также с характерными морфометрическими изменениями в ряду лимфатических клеток, указывает на древнее происхождение и консервативность основных принципов организации КАЛТ в эволюции лучеперых, предоставляя основу для дальнейшего изучения эволюционных преобразований иммунной системы этой группы.

Полученные данные по морфометрическим показателям лимфоидных клеток частично сходятся с ранее приведенными данными для корейского осетра (*Acipenser dabryanus*) [9], данио рерио [25], карпа (*Cyprinus carpio*) [20] и канального сома (*Ictalurus punctatus*) [21]. Некоторые различия, в частности, по размерам лимфобластов, вероятнее всего, связаны с используемыми методами фиксации и окрашивания препаратов. Изменение размеров лимфоцитов в лимфоидной ткани кишечника отражают современные представления о гистогенезе клеток крови, которые сводятся к постепенному уменьшению площади цитоплазмы и ядра, а также метаболической и митотической активности клеток. В случае же с плазмоцитами, которые трансформируются в результате иммунопоэза из В-лимфоцитов, наоборот, происходит метаболическая активация и появляется способность к пролиферации. По этим причинам на цитологических препаратах проплазмоциты и плазмоциты имеют несколько большие размеры цитоплазмы и ядра в сравнении с лимфоцитами.

Приведенные в работе значения относительной встречаемости плазмоцитов не являются полноценным отражением встречаемости популяции плазматических клеток в лимфоидной ткани кишечника. Существующие на данный момент морфологические критерии для определения плазмоцитов не позволяют однозначно их определить, так как ранее было показано, что у плазмоцитов может наблюдаться большое разнообразие морфологии ядра и цитоплазмы [26]. Вероятнее всего, крайне трудоемкая процедура подсчета и неоднозначность морфологических критериев существенно ограничили исследование данного типа клеток у рыб с использованием классических цитологических и гистологических методов. Наиболее достоверными способами их определения и подсчета являются иммуногистохимическая окраска по IgM, что продемонстрировано в работе Fournier-Betz [27], или электронная сканирующая микроскопия [28], которая позволяет выявить рибосомы и везикулы, содержащие синтезируемые клеткой антитела. Для установления более четких морфологических показателей плазмоцитов необходимо проведение серии работ на разных видах рыб, посвященных изучению кроветворных органов, с использованием нескольких методов окраски (периодическая кислота Шиффа, активность кислой фосфатазы, PCNA и др.).

## Выводы Conclusions

1. На гистологических препаратах лимфоидная ткань кишечника стерляди включает в себя лимфоциты, ассоциированные со слизистой оболочкой (интраэпителиальные) и с собственной пластинкой слизистой кишечника (лимфоциты lamina propria), эозинофильные клетки, а также островки лимфоидной ткани, окруженные ретикулярной тканью/слизистой оболочкой.

2. Установлено, что интраэпителиальные лимфоциты (8,9 кл/100 мкм) являются наиболее представленным типом клеток в слизистой кишечника стерляди в сравнении с лимфоцитами lamina propria (7,1 кл/100 мкм) и эозинофильными клетками (1,0 кл/100 мкм).

3. На мазках лимфоидной ткани кишечника стерляди были обнаружены следующие типы клеток лимфоидного ряда (в порядке убывания): лимфоциты (64,4%), пролимфоциты (6,5%), плазмоциты (3,9%), лимфобласты (2,9%) и проплазмоциты (1,5%).

4. Анализ морфологии, клеточного состава, а также функциональных характеристик позволил отнести лимфоидную ткань кишечника стерляди к кишечно-ассоциированной лимфоидной ткани.

Список источников

1. Birstein V.J., Waldman J.R., Bemis W.E. Sturgeon biodiversity and conservation. *Springer Science & Business Media*. 1997;17:443. [https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9\\_2](https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9_2)
2. Грушко М.П., Светашева Д.Р. Сравнительная морфофизиологическая характеристика органов кроветворения осетровых рыб и земноводных на ранних стадиях развития // *Труды ВНИРО*. 2017. Т. 167. С. 12-23. EDN: ZRQSZX
3. Gradil A.M., Wright G.M., Wadowska D.W., Fast M.D. Ontogeny of the immune system in Acipenserid juveniles. *Developmental & Comparative Immunology*. 2014;44(2):303-314. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.01.006>
4. Höhne C., Prokopov D., Kuhl H., Du K. et al. The immune system of sturgeons and paddlefish (Acipenseriformes): a review with new data from a chromosome scale sturgeon genome. *Reviews in Aquaculture*. 2021;13(3):1709-1729. <https://doi.org/10.1111/raq.12542>
5. Минеев А.К. Гематопатологии у рыб Куйбышевского водохранилища // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. Т. 18, № 5-1. С. 51-59. EDN: YJKQIR
6. Флёрова Е.А., Богданова А.А., Паюга А.А., Евдокимов Е.Г. и др. Гематологические показатели рыб малых рек государственного природного заказника «Ярославский» // *Труды ВНИРО*. 2020. Т. 179. С. 78-89. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2020-179-78-89>
7. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. 2023;13(16):2625. <https://doi.org/10.3390/ani13162625>
8. Alijagic A., Suljevic D. Hemopoiesis in the pronephros of tench, *Tinca tinca*, Linnaeus 1758 (Teleostei, Cyprinidae): cytochemical identification and cell morphology. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2016;40(5):548-553. <https://doi.org/10.3906/vet-1512-34>
9. Liu Y., Xiao Q., Yang S., Zhao L. et al. Characterization of hematopoiesis in Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*). *Aquaculture and fisheries*. 2017;2(6):262-268. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.10.007>
10. Грушко М.П. Морфофизиологические особенности кроветворения у костистых рыб (на примере воблы (*Rutilus rutilus caspicus*)) // *Вопросы рыболовства*. 2010. Т. 11, № 2. С. 327-340. EDN: MSNXTJ
11. Грушко М.П., Федорова Н.Н. Структурная и функциональная организация органов гемопоэза костистых рыб (на примере воблы) // *Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность*. 2008. № 3. С. 61-64. EDN: ISCRBN
12. Валова В.Н. Реакция периферической крови и пищеварительной системы сеголеток амурского осетра на условия зимовки в садках тепловодного хозяйства // *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. 2013. Т. 173. С. 259-268. EDN: RMTXIF

References

1. Birstein V.J., Waldman J.R., Bemis W.E. Sturgeon biodiversity and conservation. *Springer Science & Business Media*. 1997;17:443. [https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9\\_2](https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9_2)
2. Grushko M.P., Svetasheva D.R. Comparative morphological and physiological characteristics of the organs hematopoiesis sturgeons and amphibians in the early stages of development. *Trudy VNIRO*. 2017;167:12-23. (In Russ.)
3. Gradil A.M., Wright G.M., Wadowska D.W., Fast M.D. Ontogeny of the immune system in Acipenserid juveniles. *Developmental & Comparative Immunology*. 2014;44(2):303-314. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.01.006>
4. Höhne C., Prokopov D., Kuhl H., Du K. et al. The immune system of sturgeons and paddlefish (Acipenseriformes): a review with new data from a chromosome scale sturgeon genome. *Reviews in Aquaculture*. 2021;13(3):1709-1729. <https://doi.org/10.1111/raq.12542>
5. Mineev A.K. hematopathology in fishes of the Kuibyshev reservoir. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016;18(5-1):51-59. (In Russ.)
6. Flerova E.A., Bogdanova A.A., Payuta A.A., Evdokimov E.G., Andreyeva M.I. Hematological indicators of fish of small rivers of the State Nature Reserve “Yaroslavsky”. *Trudy VNIRO*. 2020;179:78-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2020-179-78-89>
7. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. 2023;13(16):2625. <https://doi.org/10.3390/ani13162625>
8. Alijagic A., Suljevic D. Hemopoiesis in the pronephros of tench, *Tinca tinca*, Linnaeus 1758 (Teleostei, Cyprinidae): cytochemical identification and cell morphology. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2016;40(5):548-553. <https://doi.org/10.3906/vet-1512-34>
9. Liu Y., Xiao Q., Yang S., Zhao L. et al. Characterization of hematopoiesis in Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*). *Aquaculture and fisheries*. 2017;2(6):262-268. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.10.007>
10. Grushko M.P. Morpho-physiological of feature hemopoietic at bony of fishes (on an example vobla (*Rutilus rutilus caspicus*)). *Fisheries Issues*. 2010;11(2):327-340. (In Russ.)
11. Grushko M.P., Fedorova N.N. Structural and functional organization of some organs of hemopoiesis of bony fishes (by the example of vobla). *Oil and Gas Technologies and Environmental Safety*. 2008;(3):61-64. (In Russ.)
12. Valova V.N. Reaction of peripheral blood and digestive system of the Amur sturgeon fingerlings on conditions of their wintering in warm-water farm cages. *Izvestiya TINRO*. 2013;173:259-268. (In Russ.)

13. Wilson J.M., Castro L.F.C. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. *Fish physiology. Academic Press.* 2010;30:1-55. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03001-3)
14. Ложниченко О.В., Загрийчук В.П., Грицишина В.В. Оценка воздействия гормональных добавок на органы пищеварительной системы русского осетра // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство»*. 2009. № 2. С. 54-59. EDN: MWIDJZ
15. Гаврилин К.В. *Гистопатология костистых рыб*: Монография. Курск: ИП Бескровный А.А, 2023. 200 с. EDN: JICTCN
16. Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques E-Book*. Elsevier Health Sciences: Amsterdam, The Netherlands, 2018:672. URL: <https://shop.elsevier.com/books/bancrofts-theory-and-practice-of-histological-techniques/suvarna/978-0-7020-6864-5> (дата обращения: 01.12. 2024).
17. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods.* 2012;9(7):676-682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
18. Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Смородинская С.В., Климчук А.А. и др. Положительный опыт применения штамма *Lactobacillus brevis* 47f на рыбоводно-биологические, гематологические и гистологические показатели молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) // *Рыбное хозяйство*. 2024. № 4. С. 96-107. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-4-96-107>
19. Иванова Н.Т. *Атлас клеток крови рыб: сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб*. М.: Изд-во «Легкая и пищевая промышленность», 1983. 283 с.
20. Kondera E. Haematopoiesis in the head kidney of common carp (*Cyprinus carpio* L.): a morphological study. *Fish Physiology and Biochemistry.* 2011;37:355-362. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9432-5>
21. Fijan N. Morphogenesis of blood cell lineages in channel catfish. *Journal of Fish Biology.* 2002;60(4):999-1014. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb02424.x>
22. Collan Y., Torkkeli T., Pesonen E., Jantunen E. et al. Application of morphometry in tumor pathology. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology.* 1987;9(2):79-88. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-74823-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-74823-3_6)
23. Mitchell C.D., Criscitiello M.F. Comparative study of cartilaginous fish divulges insights into the early evolution of primary, secondary and mucosal lymphoid tissue architecture. *Fish & Shellfish Immunology.* 2020;107:435-443. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.006>
24. Yu Y., Wang Q., Huang Z., Ding L. et al. Immunoglobulins, mucosal immunity and vaccination in teleost fish. *Frontiers in Immunology.* 2020;11:567941. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.567941>
13. Wilson J.M., Castro L.F.C. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. *Fish physiology. Academic Press.* 2010;30:1-55. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03001-3)
14. Lozhnichenko O.V., Zagriyuchuk V.P., Gritsishina V.V. Assessment of hormone additives influence on organs of digestive system of Russian sturgeon. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2009;(2):54-59. (In Russ.)
15. Gavrilin K.V., Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Smorodinskaya S.V. *Histopathology of bony fishes: a monograph*. Kursk, Russia: IP Beskrovnyy A.A, 2023:200. (In Russ.)
16. Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques E-Book*. Elsevier Health Sciences: Amsterdam, The Netherlands, 2018:672. URL: <https://shop.elsevier.com/books/bancrofts-theory-and-practice-of-histological-techniques/suvarna/978-0-7020-6864-5> (accessed: December 01, 2024).
17. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods.* 2012;9(7):676-682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
18. Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Smorodinskaya S.V., Klimuk A.A., Golovacheva N.A. Effects of dietary *Lactobacillus brevis* 47f on growth performance, hematological and histological parameters of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Fisheries.* 2024;(4):96-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-4-96-107>
19. Ivanova N.T. *Atlas of fish blood cells: comparative morphology and classification of blood corpuscles in fish*. Moscow, Russia: Legkaya i pishcheyaya promyshlennost, 1983:283. (In Russ.)
20. Kondera E. Haematopoiesis in the head kidney of common carp (*Cyprinus carpio* L.): a morphological study. *Fish Physiology and Biochemistry.* 2011;37:355-362. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9432-5>
21. Fijan N. Morphogenesis of blood cell lineages in channel catfish. *Journal of Fish Biology.* 2002;60(4):999-1014. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb02424.x>
22. Collan Y., Torkkeli T., Pesonen E., Jantunen E. et al. Application of morphometry in tumor pathology. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology.* 1987;9(2):79-88. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-74823-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-74823-3_6)
23. Mitchell C.D., Criscitiello M.F. Comparative study of cartilaginous fish divulges insights into the early evolution of primary, secondary and mucosal lymphoid tissue architecture. *Fish & Shellfish Immunology.* 2020;107:435-443. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.006>
24. Yu Y., Wang Q., Huang Z., Ding L. et al. Immunoglobulins, mucosal immunity and vaccination in teleost fish. *Frontiers in immunology.* 2020;11:567941. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.567941>

25. Smorodinskaya S., Kochetkov N., Gavrilin K., Nikiforov-Nikishin D. et al. The Effects of Acute Bisphenol A Toxicity on the Hematological Parameters, Hematopoiesis, and Kidney Histology of Zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*. 2023;13(23):3685. <https://doi.org/10.3390/ani13233685>
26. Фомина А.С. Клеточный состав головного отдела почки байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) в период нагула и нерестовой миграции // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2016. № 3. С. 71-74. EDN: WWJNBR
27. Fournier-Betz V., Quentel C., Lamour F., LeVen A. (Immunocytochemical detection of Ig-positive cells in blood, lymphoid organs and the gut associated lymphoid tissue of the turbot (*Scophthalmus maximus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2000;10(2):187-202. <https://doi.org/10.1006/fsim.1999.0235>
28. Cui Z.W., Zhang X.Y., Wu C.S., Zhang Y.A. et al. Membrane IgM+ plasma cells in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): Insights into the conserved evolution of IgM+ plasma cells in vertebrates. *Developmental & Comparative Immunology*. 2020;106:103613. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103613>
25. Smorodinskaya S., Kochetkov N., Gavrilin K., Nikiforov-Nikishin D. et al. The Effects of Acute Bisphenol A Toxicity on the Hematological Parameters, Hematopoiesis, and Kidney Histology of Zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*. 2023;13(23):3685. <https://doi.org/10.3390/ani13233685>
26. Fomina A.S. Cellular structure of head department of a nephros of the Baikal omul (*Coregonus migratorius*) in a period of feeding and spawning migration. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*. 2016;(3):71-74. (In Russ.)
27. Fournier-Betz V., Quentel C., Lamour F., LeVen A. (Immunocytochemical detection of Ig-positive cells in blood, lymphoid organs and the gut associated lymphoid tissue of the turbot (*Scophthalmus maximus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2000;10(2):187-202. <https://doi.org/10.1006/fsim.1999.0235>
28. Cui Z.W., Zhang X.Y., Wu C.S., Zhang Y.A. et al. Membrane IgM+ plasma cells in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): Insights into the conserved evolution of IgM+ plasma cells in vertebrates. *Developmental & Comparative Immunology*. 2020;106:103613. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103613>

#### Сведения об авторах

**Никита Ильич Кочетков**, младший научный сотрудник центра «Аквакультуры», Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского (ПКУ); 109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73; e-mail: samatrixs@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2196-5421>

**Дмитрий Львович Никифоров-Никишин**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник центра «Аквакультуры», Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского (ПКУ); 109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73; e-mail: nikipdl@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1715-057X>

**Кирилл Владимирович Гаврилин**, доктор биологических наук, директор по развитию проектов в области биотехнологии и аквакультуры, Национальный фонд экологической защиты и развития Крайнего Севера и приравненных к ним местностей «Якутия»; 677027, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, 18; e-mail: k.gavrilin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0004-1856-1047>

**Белинский Антон Андреевич**, аспирант кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: belinsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6392-3168>

#### Information about the authors

**Nikita I. Kochetkov**, Junior Research Associate at the Aquaculture Center, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University) (73 Zemlyanoy Val St., Moscow, 109004, Russian Federation); e-mail: samatrixs@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2196-5421>

**Dmitry L. Nikiforov-Nikishin**, CSc (Bio), Leading Research Associate at the Aquaculture Center, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University) (73 Zemlyanoy Val St., Moscow, 109004, Russian Federation); e-mail: nikipdl@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1715-057X>

**Kirill V. Gavrilin**, DSc (Bio), Director for Biotechnology and Aquaculture Project Development, National Fund for Environmental Protection and Development of the Far North and Equated Localities “Yakutia” (18 Oktyabrskaya St., Yakutsk, 677027, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation); e-mail: k.gavrilin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0004-1856-1047>

**Anton A. Belinsky**, postgraduate student of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: info@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6392-3168>

Статья поступила в редакцию 14.02.2025  
Одобрена после рецензирования 13.03.2025  
Принята к публикации 20.03.2025

The article was submitted to the editorial office  
February 14, 2025  
Approved after reviewing March 13, 2025  
Accepted for publication March 20, 2025