

Маргарита Викторовна Игнатьева^{1✉}, Анатолий Александрович Тыхеев²,
Сэсэгма Дашиевна Жамсаранова³

^{1,2,3}Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

¹rita2000miv@mail.ru

²tykheev.a@mail.ru

³zhamsarans@mail.ru

ОЦЕНКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПЕЧЕНИ И ПОЧЕК БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП

Цель исследования – оценить морфофункциональное состояние клеток печени и почек байкальского омуля разного возраста в период нерестовой миграции. Сбор гистологического материала проводили в рамках совместных исследований с ФГБНУ «ВНИРО» г. Улан-Удэ в местности Малое Колесово Кабанского района Республики Бурятия в 2019 г. Подсчет возраста рыб проводили по годовым кольцам на чешуе (по склеритам). Были сформированы 3 группы рыб: 1-я группа – особи 5–6 лет; 2-я группа – особи 7–9 лет; 3-я группа – особи в возрасте 10 лет и старше. Структура печени и почек рыб в возрасте 5–6 лет характеризовалась классической морфологической картиной. Местами выявлялись небольшие отклонения в виде мелких липидных включений в паренхиме органов. У особей 7–9 лет отчетливо просматривалось незначительное увеличение некротизированных гепатоцитов в структуре печени. Отмечались немногочисленные очаги воспаления в строме почек, деструкция почечных телец и извитых канальцев, вкрапления темных пятен. У омулей в возрастной группе 10–12 лет наблюдались признаки выраженной застойной гиперемии в структуре печени, существенно увеличились площади с некротизированными клетками. Морфоструктура почек характеризовалась обширной деструкцией почечных телец, гибелью сосудистых клубочков, фиброзом. Отмечалось увеличение липидных капель на препаратах печени и почек в старшевозрастных группах рыб. Гистологические изменения структур клеток печени и почек рыб могут быть применимы для ранней оценки экологического состояния среды обитания гидробионтов при отсутствии видимых изменений.

Ключевые слова: озеро Байкал, омуль *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775), печень, почки, возраст рыб, патологические изменения

Для цитирования: Игнатьева М.В., Тыхеев А.А., Жамсаранова С.Д. Оценка морфофункционального состояния печени и почек байкальского омуля разных возрастных групп // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 109–118. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-109-118.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Молодые ученые ВСГУТУ–2022».

Margarita Viktorovna Ignatieva^{1✉}, Anatoly Alexandrovich Tykheev²,
Sesegma Dashievna Zhamsaranova³

^{1,2,3}East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

¹rita2000miv@mail.ru

²tykheev.a@mail.ru

³zhamsarans@mail.ru

EVALUATION OF THE BAIKAL OMUL' OF DIFFERENT AGE GROUPS LIVER AND KIDNEYS MORPHOFUNCTIONAL STATE

The aim of the study was to assess the morphofunctional state of the liver and kidney cells of the Baikal omul of different ages during the period of spawning migration. The collection of histological material was carried out as part of joint research with the FSBSI VNIRO in Ulan-Ude in the area of Maloye Kolesovo, Kabansky District of the Republic of Buryatia in 2019. The age of the fish was calculated by annual rings on the scales (by scleritis). 3 groups of fish were formed: 1st group - individuals 5–6 years old; 2nd group – individuals 7–9 years old; 3rd group – individuals aged 10 years and older. The structure of the liver and kidneys of fish aged 5–6 years was characterized by a classical morphological picture. In places, small deviations were detected in the form of small lipid inclusions in the parenchyma of organs. In individuals 7–9 years old, a slight increase in necrotic hepatocytes in the structure of the liver was clearly visible. A few foci of inflammation in the stroma of the kidneys, destruction of the renal corpuscles and convoluted tubules, and inclusions of dark spots were noted. In omuls in the age group of 10–12 years, signs of pronounced congestive hyperemia in the structure of the liver were observed, and the areas with necrotic cells increased significantly. The morphostructure of the kidneys was characterized by extensive destruction of renal bodies, death of vascular glomeruli, and fibrosis. An increase in lipid droplets on preparations of the liver and kidneys was noted in older groups of fish. Histological changes in the structures of fish liver and kidney cells can be used for early assessment of the ecological state of the habitat of aquatic organisms in the absence of visible changes.

Keywords: Lake Baikal, omul *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775), liver, kidneys, fish age, pathological changes

For citation: Ignatieva M.V., Tykheev A.A., Zhamsaranova S.D. Evaluation of the Baikal omul' of different age groups liver and kidneys morphofunctional state // Bulliten KrasSAU. 2023;(1): 109–118. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-109-118.

Acknowledgments: the work has been supported by the grant "Young Scientists of the ESSTU-2022".

Введение. Экосистема озера Байкал за последние десятилетия переживает усиленный антропогенный прессинг, что создает проблему глобального характера [1]. Основной угрозой водным экосистемам является возможность поступления в водоемы высокотоксичных загрязняющих веществ ввиду их биоаккумуляции в органах и тканях на более высоких трофических уровнях. Это приводит к развитию широкого спектра патологий почти у всех гидробионтов [2–4].

Рыбы, являясь главным звеном трофической цепи во всех водных экосистемах, постоянно подвергаются воздействию загрязняющих веществ. Изучение сообщества рыб может предоставить важную информацию о водной среде и, следовательно, могут являться отличными индикаторами качества окружающей среды [5–8].

Токсические вещества накапливаются преимущественно в печени, как органе с высокой метаболической активностью. Микросомальная система печени обладает широкой субстратной специфичностью и отвечает за окислительный метаболизм многих структурно разнообразных

ксенобиотических соединений [9]. Большая часть метаболитов и поллютантов в результате биотрансформации поступает в плазму крови, откуда они экскретируются почками. Совместное функционирование указанных органов играет ключевую роль в обезвреживании и выведении из организма большей части чужеродных соединений [10].

Наименее устойчивыми к воздействию поллютантов являются сиговые рыбы [11]. В Байкале самым экономически значимым и важным промысловым видом сиговых является омуль *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775).

Характер токсического воздействия поллютантов окружающей среды рыб напрямую зависит от возраста гидробионтов [12, 13]. С увеличением возраста рыб накапливается достаточное количество токсичных соединений, индуцируется активность ферментов печени, усиливается напряженность иммунитета. Это приводит к тому, что организм перестает сопротивляться действию патогенных факторов окружающей среды [10, 13].

Для определения степени негативного воздействия и оценки качества и безопасности водной среды для гидробионтов оз. Байкал гистопатологические исследования печени и почек, являющихся основными органами-мишенями, приобретают особую актуальность.

Таким образом, диагностика состояния клеток печени и почек рыб является важной частью комплексной оценки благополучия гидробионтов в условиях антропогенной нагрузки.

Цель исследования – морфофункциональная оценка состояния клеток печени и почек байкальского омуля разного возраста в период нерестовой миграции.

Объекты и методы. Объектом исследования являлись половозрелые особи селенгинской популяции байкальского омуля, выловленные в количестве 17 экз. в условиях нерестовой миграции в реке Селенга. Материалами послужили образцы печени и почек рыб. Сбор гистологического материала проводили в рамках совместных исследований с ФГБНУ «ВНИРО» г. Улан-Удэ в местности Малое Колесово Кабанского района Республики Бурятия в 2019 г. С целью проведения эксперимента использовали живую рыбу, пойманную и помещенную в садок. Выловленные особи омуля были разделены на 3 группы: 1-я группа рыб – особи 5–6 лет; 2-я

группа рыб – особи 7–9 лет; 3-я группа омулей – рыбы в возрасте от 10 лет и выше. Подсчет возраста рыб проводили по годовым кольцам на чешуе (по склеритам).

После необходимых измерений взятые образцы помещали в контейнер с нейтральным 10 % раствором формалина. Гистоморфологический анализ органов проводили по общепринятой методике: после стандартной проводки заливали в парафин [14]. Для морфометрии и сравнения состояния структуры клеток печени и почек было проанализировано по 50 срезов в каждой группе рыб. Гистологические срезы толщиной 5–6 мкм окрашивали гематоксилином и эозином по Эрлиху с дальнейшим заключением в канадский бальзам.

Промеры морфоструктуры клеток печени и почек проводили с использованием микроскопа «Биомед», видеоокуляра для микроскопа TourCam 5,1 при увеличении в 100× и 400×. Полученные цифровые данные подвергали статистической обработке на персональном компьютере с помощью программы MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Большую часть выловленных омулей (70 %) составили особи в возрастной группе 7–9 лет (рис. 1). Данная возрастная группа представляет собой основное нерестовое стадо.

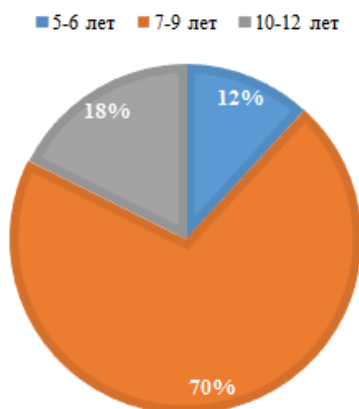


Рис. 1. Процентное соотношение возрастных групп омуля в период нерестовой миграции в 2019 г.

При визуальном осмотре печени 1-й группы омулей отмечены четкие и ровные края органа, окраска которого варьировала от светлого до светло-желтого цвета. Результаты гистологического исследования показали, что печень рыб представлена паренхимой, состоящей из эпителиальных клеток, и стромой из соединительной ткани, снабженной кровеносными капиллярами.

Микроструктура органа представлена большим количеством клеток гепатоцитов, имеющих неправильную форму с нежнугранулярной цитоплазмой. Клетки печени наблюдались в виде плотных тяжей, дифференцированных широкими синусоидами типа лакун (рис. 2, А, г). Согласно данным морфометрического анализа установлен диаметр гепатоцитов, который составил в сред-

нем $23,83 \pm 0,98$ мкм. Отмечены единичные 2,3-ядерные гепатоциты (рис. 2, А, в), средний диаметр ядер которых соответствовал $14,00 \pm 0,66$ мкм (табл.). По результатам гистоморфологического исследования препаратов печени обнаружен ряд отклонений, представленных

мелкими жировыми включениями (рис. 2, А, б). Помимо этого, в редких случаях на срезах печени рыб наблюдалась «пенистая» структура паренхимы в результате разрыва оболочек клеток и излияния их содержимого.

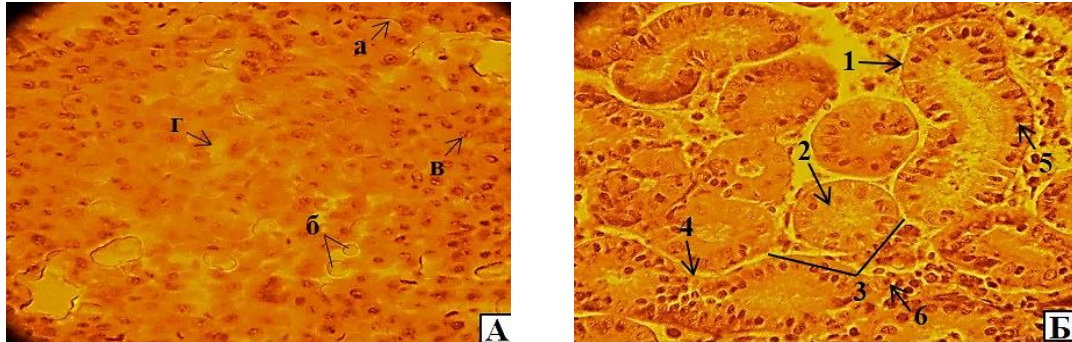


Рис. 2. Микроструктура клеток печени и почек в возрастной группе 5–6 лет:

А – микрофотография печени (10×40): а – гепатоцит с кровеносным капилляром; б – липидные капли; в – 2,3-ядерный гепатоцит; г – расширение стенки синусоида; Б – микрофотография почек (10×10): 1 – проксимальный извитой каналец; 2 – почечное тельце; 3 – собирательные трубочки; 4 – дистальный извитой каналец; 5 – капсула Шумлянско-Боумена; 6 – клетки крови. Окраска: гематоксилин и эозин

При гистологическом исследовании препаратов туловищного отдела почек особей данной группы различалось корковое и мозговое вещество (рис. 2, Б). Туловищная почка является гемопоэтическим и иммунным органом и выполняет выделительную функцию. В корковом веществе паренхимы, т. е. по периферии органа, наряду с почечными канальцами находились почечные тельца (рис. 2, Б, 2). Вместе они представляют собой нефрон – структурно-функциональный элемент почки. В мозговом веществе располагались только почечные канальцы, которые классифицировались на следующие типы:

проксимальные, дистальные и собирательные трубочки. Согласно данным морфометрического анализа, диаметры проксимального и дистального извитых канальцев в среднем составили $58,04 \pm 4,85$ и $52,35 \pm 5,16$ мкм соответственно. Высота собирательных трубочек имела среднее значение, равное $10,02 \pm 0,55$ мкм (см. табл.). В межканальцевой ткани вблизи кровеносных сосудов установлено большое количество клеток крови, что явилось следствием их интенсивной пролиферации с последующей миграцией из кровеносных сосудов (рис. 2, Б, 6).

Размерные показатели некоторых структур клеток печени и почек по возрастным группам рыб

Размерный показатель некоторых структур органов (пределы измерений), мкм	Возраст рыб		
	5–6 лет	7–9 лет	10–12 лет
1	2	3	4
Печень			
Средний диаметр гепатоцитов	$23,83 \pm 0,98$ (20,9–27,0)	$19,83 \pm 4,08$ (18,54–24,52)	$42,45 \pm 2,21^{*1,2}$ (31,70–48,82)
Средний диаметр ядер	$14,00 \pm 0,66$ (11,7–16,1)	$6,92 \pm 0,73^{*1}$ (5,32–9,25)	$7,74 \pm 0,52^{*1}$ (6,4–8,9)
Средняя площадь гепатоцитов	$1863,3 \pm 75,12$ (1613,9–1975,0)	$1245,8 \pm 78,2^{*1}$ (1098–1380)	$5992,84 \pm 108^{*1,2}$ (3896–7038,8)

1	2	3	4
Почки			
Диаметр почечных телец	185,5±14,07 (167,3–305,4)	259,9±22,05* ¹ (171,1–324,7)	284,92±25,35* ^{1,2} (188,8–336,9)
Диаметр проксимальных канальцев	58,04±4,85 (45,8–78,04)	57,63±5,28 (45,9–85,8)	79,73±3,32* ^{1,2} (65,6–92,4)
Диаметр дистальных канальцев	52,35±5,16 (44,05–58,12)	50,38±4,11 (33,9–59,9)	58,33±4,92 (44,8–70,5)
Высота сосудистых клубочков	17,15±1,42 (14,08–20,02)	16,6±0,70 (14,0–19,8)	22,18±1,62* ² (18,7–28,2)
Высота собирательных трубочек	10,02±0,55 (5,9–12,85)	9,57±1,21 (6,1–13,4)	15,86±1,63* ^{1,2} (11,1–20,06)

Примечание: $n^{1,2,3}$ – достоверные различия относительно 1–3 групп ($p \geq 0,05$).

При микроскопическом анализе препаратов печени омулей 2-й группы выявлены признаки гиперемии, атрофии паренхимы органа с явлениями венозного кровенаполнения (рис. 3, А, в). Результаты морфометрического исследования срезов печени указали на незначительное уменьшение размеров гепатоцитов в отличие от препаратов печени 1-й группы рыб. Так, диаметр гепатоцитов в среднем составил $19,83 \pm 4,08$ мкм (см. табл.). Отчетливо просматривалось образование некротизированных гепатоцитов (рис. 3, А, ж) и небольших кавернозных образований (рис. 3, А, д) в паренхиме печени. В некоторых гепатоцитах наблюдался сдвиг ядер

на периферию клеток по причине сдавливания их липидными каплями (рис. 3, А, б). Морфологическое исследование препаратов печени данной группы рыб указало на появление уменьшенных и деформированных ядер от вытянутой до округлой формы. В то же время наблюдалось увеличение количества 2,3-ядерных гепатоцитов в отличие от срезов печени омулей в возрастной группе 5–6 лет (рис. 3, А, а). Следует также отметить, что в результате гиперемии и крупнокапельной дистрофии на препаратах печени отмечалось увеличение клеток Купфера. Данные клетки являются первой линией иммунной защиты печени (рис. 3, А, е).

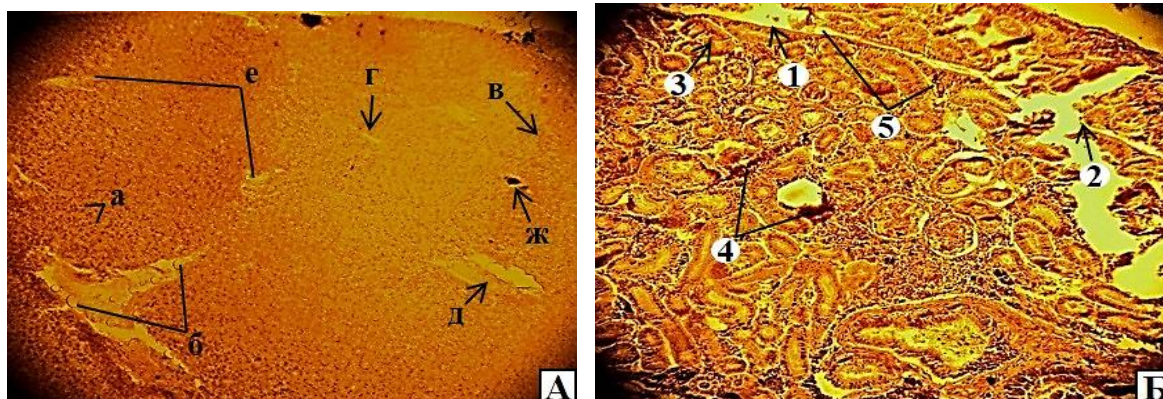


Рис. 3. Микроструктурные изменения клеток печени и почек в возрастной группе 7–9 лет: А – микроструктура печени с разной степенью гиперемии (10×20): а – 2,3-ядерные гепатоциты; б – липидные капли; в – кровенаполнение венозных сосудов; г – синусоида с желчным протоком; д – образование каверн; е – клетки Купфера; ж – некроз гепатоцитов; Б – микроструктура почек с отеком стромы и деструкцией почечных телец (10×10): 1 – артериола; 2 – гранулы юкстагломерулярных клеток; 3 – деструкция проксимального отдела; 4 – вкрапления темных пятен; 5 – собирательные трубочки. Окраска: гематоксилин и эозин

При анализе препаратов почек омулей отмечались определенные нарушения структуры органа. Замечено сужение кровеносных сосудов в сосулистом клубочке, немногочисленные очаги воспаления в строде почек, кровоизлияние и деструкция почечных телец и извитых канальцев (рис. 3, Б, 3). Средний диаметр почечных телец при этом соответствовал $259,9 \pm 22,05$ мкм. Вместе с тем необходимо отметить, что просвет канальцев в рассмотренных образцах был сужен. Вокруг почечных телец и в собирательных трубках извитых канальцев встречались темные вкрапления, имеющие разные размеры (рис. 3, Б, 4). Отмечено расширение просвета собирательных трубочек (см. табл.).

При исследовании внешних признаков печени 3-й группы особей омуля отмечалось небольшое расширение органа, закругленные края, темно-желтая окраска. Гистологический анализ препаратов печени позволил обнару-

жить признаки выраженной застойной гиперемии (рис. 4, А). Основную массу каждой клетки составляла крупная жировая капля, которая, сдавливая стенки, значительно увеличивала их размеры. На основании результатов морфометрии срезов печени выявлено заметное увеличение размеров гепатоцитов по сравнению с младшевозрастной группой. Диаметр гепатоцитов тем временем составил в среднем $42,45 \pm 2,21$ мкм (см. табл.). Вместе с тем в значительной степени отмечалось повышение количества 2,3-ядерных гепатоцитов и площадей с некротизированными клетками (рис. 4, А, в). В то же время наблюдалось существенное увеличение клеток Купфера на разных фазах роста, что указывало на нарастающий рост патологического процесса, обусловленный длительным поступлением в организм рыб неблагоприятных факторов окружающей среды (рис. 4, А, б).

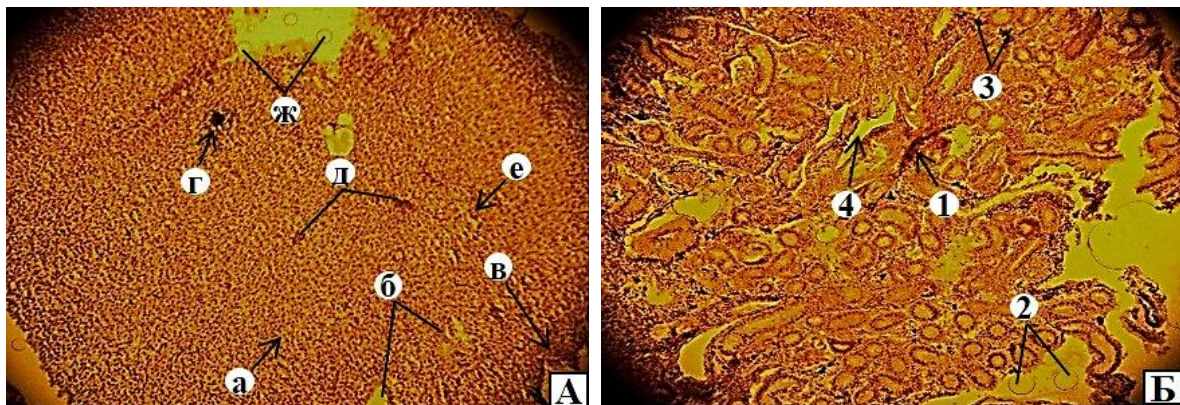


Рис. 4. Микроструктурные изменения клеток печени и почек омулей в возрастной группе 10–12 лет: А – микроструктура печени с признаками хронической гиперемии (10×20): а – эндотелиальные клетки синусоида; б – купферовские клетки на разных стадиях роста; в – некротизированный участок; г – некротизированный гепатоцит; д – темные пятна; е – синусоида; ж – жировые капли; Б – микроструктура почек, умеренная гибель почечных телец с явлениями деструкции и фиброза (10×10): 1 – темные вкрапления пятен; 2 – жировые капли; 3 – черные округлые пятна; 4 – расширение стенки синусоида. Окраска: гематоксилин и эозин

При исследовании препаратов почек отмечалась выраженная деструкция почечных телец, частичная гибель сосулистых клубочков, фиброз. Обнаружены отложения липидных включений в эпителии извитых канальцев, просветы которых расширены (рис. 4, Б, 2). В извитых канальцах и вокруг почечных телец наблюдались черные округлые пятна (рис. 4, Б, 3). Средний диаметр почечных телец вместе с тем составил $284,92 \pm 25,35$ мкм (см. табл.). Над поверхностью извитых канальцев выступали редкие бледно-

желтоватые очажки, которые, сливаясь, формировали более крупные очаги. Степень повреждения варьировала от вакуолизации и зернистой дистрофии до появления отдельных разрозненных клеток, разрушения и отторжения апиальных частей и щеточной каемки.

Следует отметить наиболее выраженные изменения диаметра гепатоцитов и диаметра почечных телец с увеличением возраста рыб (см. табл., рис. 5).

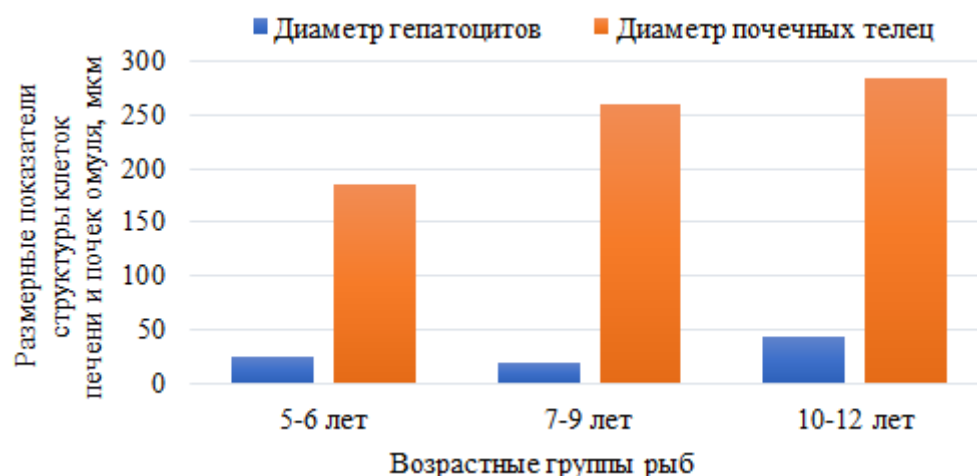


Рис. 5. Изменения некоторых размерных показателей структуры клеток печени и почек омуля в зависимости от возраста рыб

По-видимому, более выраженные изменения размеров исследуемых клеток и структур у омуля старшевозрастной группы связаны с длительной аккумуляцией токсинов в рыбе. Длительность проявления токсического эффекта сказывается на морфофункциональном состоянии клеток.

Так, в работе G.D. Stentiford с соавторами (2010) отмечено, что в лабораторных испытаниях с использованием модельного канцерогенеза на животных в возрастных группах от 3 до 50 лет патологии развивались с одинаковой скоростью. В этом контексте, по мнению авторов, зависимость развития морфологических аномалий от времени, по всей вероятности, больше связана с кумулятивной дозой канцерогена, чем с продолжительностью жизни хозяина или скоростью старения. Возрастной диапазон камбалы *Limanda limanda*, исследованный авторами, составлял от 1 до 7 лет, причем большинство поражений было обнаружено у рыб более старшего возраста [13]. Аналогично в эксперименте, проведенном S.W. Feist и др. (2015), единственный случай выраженных морфологических нарушений у синеротого окуня *Blackbelly rosefish* произошел у 11-летней самки, которая была одной из самых старых отобранных особей [15].

Подобные результаты также отражены в работах отечественных исследователей. По данным И.С. Некрасова и др. (2014), у особей пеляди старшего возраста (8+...9+ лет) в р. Северная Сосьва в печени наблюдалось увеличение площадей с кавернами и некротизированными участками, что составило 2,2 %. Тогда как у младшевозрастных особей – не превышало

1 % [16]. А.Г. Селюковым (2007) в конце нагульного периода у особей ельца старшего возраста в р. Айяун обнаружены аномалии в гепатогенезе, дегенерация гепатоцитов с образованием на их месте многочисленных полостей, интенсивное накопление жировых капель в цитоплазме печени [17].

На наш взгляд, темные пятна, выявленные в структуре печени и почек, аналогичны пигментированным новообразованиям, описанным А.К. Минеевым (2020) и (2015) соответственно. По мнению автора, отложения гранул пигмента в паренхиме печени и почек рыб является весьма качественным показателем токсического поражения органов [18, 19]. В работе П.В. Исакова, А.Г. Селюкова (2010) указано, что у самок рыб в период нерестовой миграции наблюдаются заметные отклонения в структуре печени, которые проявляются, помимо кровоизлияний и кавернизаций, в жировом перерождении органа. Повышенное содержание липидных капель (жировая дистрофия) в печени и почках рыб может являться следствием нарушения в органах обменных процессов при действии патогенных веществ [20].

Заключение. По результатам проведенного гистологического анализа нами установлено:

- 1) наличие небольших морфоструктурных изменений в виде мелких жировых капель в клетках печени и почек омуля в возрасте 5–6 лет;
- 2) незначительные изменения морфоструктуры клеток печени и почек, связанные с очаговыми кровоизлияниями и появлением крупных липидных включений у особей в возрасте 7–9 лет;

3) выраженные патологические нарушения в морфоструктуре клеток печени и почек с признаками дистрофии, липоидной дегенерации и хронического полнокровия сосудов у омулей в возрасте 10–12 лет.

Таким образом, гистологические изменения морфоструктуры клеток печени и почек рыб могут быть применимы для ранней оценки экологического состояния среды обитания гидробионтов при отсутствии видимых изменений.

Список источников

1. Зилов Е.А. Современное состояние антропогенного воздействия на озеро Байкал // Журнал СФУ. Биология. 2013. Т. 6, № 4. С. 388–404.
2. Diniz M.S., Pereira R., Freitas A.C. Evaluation of the sub-lethal toxicity of bleached kraft pulp mill effluent to *Carassius auratus* and *Dicentrarchus labrax* // Water, Air, Soil Pollut. 2011. Vol. 217. P. 35–45.
3. Molecular Biomarkers: Their significance and application in marine pollution monitoring / A. Sarkar [et al.] // Ecotoxicology. 2006. Vol. 15, № 4. P. 333–340.
4. Zeitoun M.M., Mehana E.E. Impact of water pollution with heavy metals on fish health: Overview and updates // Global Veterinaria. 2014. Vol. 12. P. 219–231.
5. Bassey O.B. Histopathological and biochemical response of *Chrysichthys nigrodigitatus* to environmental stressors from two polluted lagoons, Southwest Nigeria // J Toxicol Risk Assess. 2019. Vol. 5, № 1. P. 5–25.
6. Flores-Lopes F. Fish Diseases Analysis Used as Bioindicators for Water Quality and its Importance for Environmental Monitoring. International Journal of Zoological Investigations. 2021. Vol. 7. P. 1–16.
7. Jenkins J.A. Fish bioindicators of ecosystem condition at the Calcasieu Estuary, Louisiana // USGS Open-File Report, 2004. 47 p.
8. Bioconcentration of Essential and Nonessential Elements in Black Sea Turbot (*Psetta Maxima Maeotica* Linnaeus, 1758) in Relation to Fish Gender / I.A. Simionov [et al.] // J. Mar. Sci. Eng. 2019. Vol. 7, № 466. P. 1–18.
9. Biotransformation in Fishes / D. Schlenk [et al.] // The toxicology of fishes. 2008. P. 153–234.
10. Кулинский В.И. Обезвреживание ксенобиотиков // Соросовский образовательный журнал. 1999. Т. 5, № 1. С. 8–12.
11. Морфофункциональное состояние сиговых рыб (Coregonidae) в устье Оби как интегральная оценка условий их обитания / А.Г. Селюков [и др.] // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2012. № 12. С. 135–147.
12. Toxicity effects of fish histopathology on copper accumulation / S. Padrilah [et al.] // Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 2018. Vol. 41. P. 519–540.
13. Effect of age on liver pathology and other diseases in flatfish: implications for assessment of marine ecological health status / G.D. Stentiford [et al.] // Mar Ecol Prog Ser. 2010. Vol. 411. P. 215–230.
14. Коржевский Д.Э., Гиляров А.В. Основы гистологической техники. М.: Медицина, 2010. 234 с.
15. Histopathological assessment of liver and gonad pathology in continental slope fish from the northeast Atlantic Ocean / S.W. Feist [et al.] // Marine Environmental Research. 2015. Vol. 106. P. 42–50.
16. Некрасов И.С., Пашина Л.С., Селюков А.Г. Морфофункциональные изменения печени сиговых рыб в условиях реки Северная Сосьва в период летнего нагула // Вестник ТюмГУ. 2014. № 12. С. 114–120.
17. Селюков А.Г. Морфофункциональный статус рыб Обь-Иртышского бассейна в современных условиях. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2007. 184 с.
18. Минеев А.К. Гистопатология внутренних органов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) из водоемов Кольцово-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища // Вестник КамчатГТУ. 2020. № 52. С. 74–85.
19. Минеев А.К. Гистопатологии почек у рыб из загрязненного участка р. Позимь (Удмуртская Республика) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4. С. 215–221.

20. Исаков П.В., Селюков А.Г. Сиговые рыбы в экосистеме Обской губы. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2010. 184 с.

References

15. Zilov E.A. Sovremennoe sostoyanie antropogennogo vozdejstviya na ozero Bajkal // Zhurnal SFU. Biologiya. 2013. T. 6, № 4. S. 388–404.
16. Diniz M.S., Pereira R., Freitas A.S. Evaluation of the sub-lethal toxicity of bleached kraft pulp mill effluent to *Carassius auratus* and *Dicentrarchus labrax* // Water, Air, Soil Pollut. 2011. Vol. 217. P. 35–45.
17. Molecular Biomarkers: Their significance and application in marine pollution monitoring / A. Sarkar [et al.] // Ecotoxicology. 2006. Vol. 15, № 4. P. 333–340.
18. Zeitoun M.M., Mehana E.E. Impact of water pollution with heavy metals on fish health: Overview and updates // Global Veterinaria. 2014. Vol. 12. P. 219–231.
19. Bassey O.B. Histopathological and biochemical response of *Chrysichthys nigrodigitatus* to environmental stressors from two polluted lagoons, Southwest Nigeria // J Toxicol Risk Assess. 2019. Vol. 5, № 1. P. 5–25.
20. Flores-Lopes F. Fish Diseases Analysis Used as Bioindicators for Water Quality and its Importance for Environmental Monitoring. International Journal of Zoological Investigations. 2021. Vol. 7. P. 1–16.
21. Jenkins J.A. Fish bioindicators of ecosystem condition at the Calcasieu Estuary, Louisiana // USGS Open-File Report, 2004. 47 p.
22. Bioconcentration of Essential and Nonessential Elements in Black Sea Turbot (*Psetta Maxima Maeotica* Linnaeus, 1758) in Relation to Fish Gender / I.A. Simionov [et al.] // J. Mar. Sci. Eng. 2019. Vol. 7, № 466. P. 1–18.
23. Biotransformation in Fishes / D. Schlenk [et al.] // The toxicology of fishes. 2008. P. 153–234.
24. Kulinskij V.I. Obezvrezhivanie ksenobiotikov // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. 1999. T. 5, № 1. S. 8–12.
25. Morfofunkcional'noe sostoyanie sigovyh ryb (Coregonidae) v ust'e Obi kak integral'naya ocenka uslovij ih obitaniya / A.G. Selyukov [I dr.] // Vestnik TyumGU. `Ekologiya i prirodopol'zovanie. 2012. № 12. S. 135–147.
26. Toxicity effects of fish histopathology on copper accumulation / S. Padrilah [et al.] // Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 2018. Vol. 41. P. 519–540.
27. Effect of age on liver pathology and other diseases in flatfish: implications for assessment of marine ecological health status / G.D. Stentiford [et al.] // Mar Ecol Prog Ser. 2010. Vol. 411. P. 215–230.
28. Korzhevskij D. `E., Gilyarov A.V. Osnovy gistologicheskoy tehniki. M.: Medicina, 2010. 234 s.
29. Histopathological assessment of liver and gonad pathology in continental slope fish from the northeast Atlantic Ocean / S.W. Feist [et al.] // Marine Environmental Research. 2015. Vol. 106. P. 42–50.
30. Nekrasov I.S., Pashina L.S., Selyukov A.G. Morfofunkcional'nye izmeneniya pecheni sigovyh ryb v usloviyakh reki Severnaya Sos'va v period letnego nagula // Vestnik TyumGU. 2014. № 12. S. 114–120.
31. Selyukov A.G. Morfofunkcional'nyj status ryb Ob'-Irtyskogo bassejna v sovremennyh usloviyakh. Tyumen': Izd-vo TyumGU, 2007. 184 s.
32. Mineev A.K. Gistopatologiya vnutrennih organov ozernoj lyagushki *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) iz vodoemov Kol'covo-Mordovinskoj pojmy Saratovskogo vodohranilisha // Vestnik KamchatGTU. 2020. № 52. S. 74–85.
33. Mineev A.K. Gistopatologii pochk u ryb iz zagryaznennogo uchastka r. Pozim' (Udmurtskaya Respublika) // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2015. T. 17, № 4. S. 215–221.
34. Isakov P.V., Selyukov A.G. Sigovye рыбы v `ekosisteme Obskoj guby. Tyumen': Izd-vo TyumGU, 2010. 184 s.

Статья принята к публикации 22.11.2022 / The article accepted for publication 22.11.2022.

Информация об авторах:

Маргарита Викторовна Игнатьева¹, магистрант кафедры биотехнологии

Анатолий Александрович Тыхеев², научный сотрудник Биотехнологического центра, кандидат ветеринарных наук

Сэсэгма Дашиевна Жамсаранова³, профессор, директор Биотехнологического центра, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

Margarita Viktorovna Ignatieva¹, Undergraduate at the Department of Biotechnology

Anatoly Alexandrovich Tykheev², Researcher at the Biotechnological Center, Candidate of Veterinary Sciences

Sesegma Dashievna Zhamsaranova³, Professor, Director of the Biotechnology Center, Doctor of Biological Sciences, Professor

