

Г.А. Уахитканова , А.М. Тленшиева , Д.Д. Кожакметова ,  
Д.Т. Чекимбаева , Т.М. Шалахметова\* 

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: Tamara.Shalakhmetova@kaznu.kz

## ГИСТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНАХ БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА (*HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX*) ИЗ РЕКИ ИЛЕ И КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (КАЗАХСТАН)

В последние десятилетия экосистемы реки Иле и Капшагайского водохранилища подвергаются антропогенному прессингу, что снижает продуктивность данных водоемов, вызывает гибель и исчезновение аборигенных и интродуцированных видов рыб, имеющих промысловое значение. В настоящей работе проведено морфофункциональное состояние белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища, а также одного из прудовых хозяйств Алматинской области, где его выращивают. Химический анализ поверхностных вод исследованных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища выявил присутствие 9 тяжелых металлов, 3 из которых: Pb, Zn, Cu показали превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов (ПДК<sub>рх</sub>). Содержание данных ТМ в поверхностных водах прудового хозяйства было ниже ПДК<sub>рх</sub>, поэтому качество воды в нем было принято, как условно чистое (контроль). При гистологическом исследовании образцов органов (жабры, печень, кишечник) белого толстолобика были выявлены значительные деструктивные изменения у особей, выловленных в 4 разных точках верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища (рядом с плотиной и г. Конаев), и в меньшей степени у рыб из северной части Капшагай. Также выявлено, что состояние рыб из прудового хозяйства было в пределах нормы. Проведенный морфометрический анализ важнейших биоиндикационных показателей органов рыб количественно подтвердил гистологические наблюдения. На основании полученных результатов и данных других авторов делается заключение о вероятной биоаккумуляции ТМ из загрязненной воды в организме рыб, что приводит к нарушению биохимического и физиологического гомеостаза, и, в итоге, отражается на структурной организации органов и выживаемости гидробионтов.

**Ключевые слова:** река Иле, Капшагайское водохранилище, тяжелые металлы, белый толстолобик, гистология, морфометрия.

G.A. Uakhitkanova, A.M. Tlenshieva, D.D. Kozhakhmetova,  
D.T. Chekimbaeva, T.M. Shalakhmetova\*

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: Tamara.Shalakhmetova@kaznu.kz

### Investigation of the morphofunctional condition of the white silver carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) from the Ile River and Kapshagai Reservoir

In recent decades, the ecosystems of the Ile River and the Kapshagai reservoir have been subject to anthropogenic pressure, which reduces the productivity of these reservoirs and causes the death and disappearance of native and introduced fish species of commercial importance. In this work, the morphofunctional state of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) from different parts of the Ile River and the Kapshagai reservoir, as well as one of the pond farms in the Almaty region, where it is grown, was studied. Chemical analysis of the surface waters of the studied sections of the Ile River and the Kapshagai Reservoir revealed the presence of 9 heavy metals, 3 of which: Pb, Zn, Cu showed an excess of the MPC for fishery reservoirs (MPC). The content of these heavy metals in the surface waters of the pond farm was below the MPC, therefore the water quality in it was accepted as conditionally clean (control). Histological examination of samples of organs (gills, liver, intestines) of silver carp revealed significant destructive changes in individuals caught at 4 different points in the upper reaches of the Ile River and the Kapshagai reservoir (near the dam and the city of Konaev), and to a lesser extent in fish from the northern part of Kapshagai. It was also revealed that the condition of the fish from the pond farm was within normal limits. The morphometric analysis of the most important bioindicative indicators of fish

organs quantitatively confirmed histological observations. Based on the results obtained and data from other authors, a conclusion is made about the probable bioaccumulation of HMs from contaminated water in the body of fish, which leads to disruption of biochemical and physiological homeostasis, and ultimately affects the structural organization of organs and the survival of aquatic organisms.

**Key words:** Ile River, Kapshagai Reservoir, heavy metals, silver carp, histology, morphometry.

Г.А. Уахитқанова, А.М. Тленшиева, Д.Д. Кожаметова,  
Д.Т. Чекимбаева, Т.М. Шалахметова\*

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан  
\*e-mail: Tamara.Shalakhmetova@kaznu.kz

**Іле өзені мен Қапшағай су қоймасынан алынған  
ақ күміс тұқының (*Hypophthalmichthys Molitrix*)  
морфофункционалды жағдайын зерттеу**

Соңғы он жылдықтарда Іле өзені мен Қапшағай су қоймасының экожүйелері антропогендік қысымға ұшырап, бұл су қоймаларының өнімділігін төмендетіп, кәсіптік маңызы бар жергілікті және интродукциялық балық түрлерінің қырылуы мен жойылуын туғызуда. Бұл жұмыста Іле өзенінің әр жерінен және Қапшағай су қоймасынан, сондай-ақ ол өсірілетін Алматы облысындағы тоған шаруашылықтарының бірінен алынған күміс тұқы (*Hypophthalmichthys molitrix*) балықтың морфофункционалды жағдайы зерттелді. Іле өзені мен Қапшағай су қоймасының зерттелетін учаскелерінің жер үсті суларына химиялық талдау жүргізгенде 9 ауыр металдың бар екені анықталды, оның 3-інде: Pb, Zn, Cu балық шаруашылығы су қоймалары үшін ШРК (ШРК) артық екенін көрсетті. Тоған шаруашылығының жер үсті суларында осы ауыр металдардың мөлшері ШРК-дан төмен болды, сондықтан ондағы су сапасы шартты түрде таза (бақылау) болып қабылданды. Күміс тұқы балығының ағзаларының (желен, бауыр, ішек) үлгілерін гистологиялық зерттеу Іле өзенінің жоғарғы ағысында және Қапшағай су қоймасында (бөгет пен Қонаев қаласы маңында) 4 түрлі нүктеден ауланған дараларда айтарлықтай деструктивті өзгерістерді анықтады. аз дәрежеде Қапшағайдың солтүстік бөлігіндегі балықтарда. Сондай-ақ, тоған шаруашылығынан алынған балықтардың жағдайы қалыпты шектерде екені анықталды. Балық мүшелерінің аса маңызды биоиндикативті көрсеткіштерінің морфометриялық талдауы гистологиялық бақылауларды сандық түрде растады. Алынған нәтижелер мен басқа авторлардың деректері негізінде балық организміндегі ластанған судан ГМ-ның ықтимал биожинақталуы туралы қорытынды жасалады, бұл биохимиялық және физиологиялық гомеостаздың бұзылуына әкеледі және сайып келгенде органдардың құрылымдық ұйымдастырылуына әсер етеді. су организмдерінің тіршілігі.

**Түйін сөздер:** Іле өзені, Қапшағай суқоймасы, ауыр металдар, ақ толстолобик, гистология, морфометрия.

## Введение

В настоящее время загрязнение водоемов стало глобальной экологической проблемой в связи с неконтролируемым выбросом загрязняющих веществ различными производствами [1]. Как известно, химические вещества, присутствующие в промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных водах высокотоксичны в зависимости от дозы и продолжительности их воздействия [2]. Водные экосистемы, являясь поглотителем для многих из них, могут нанести серьезный ущерб водным организмам [3]. Поэтому рыболовство и аквакультура относятся к числу отраслей, наиболее уязвимых к водному загрязнению. Например, тяжелые металлы, нитриты, нитраты, пестициды, ПАВы представляют серьезную угрозу для водной флоры и фауны из-за их токсичности, длительной персистенции, биоаккумуляции и биоамплификации в пищевой

цепи [4]. Накапливаясь в организме гидробионтов и, в частности, промысловых рыб они могут вызывать различные заболевания у населения, употребляющего их в пищу [5]. Кроме того, биоаккумуляция этих веществ может вызывать стресс и заболевания самих рыб, вызывая смертность и исчезновение чувствительных таксонов, приводя, таким образом, к нарушению экологического баланса водоема и, в целом, биоразнообразия [6]. Поэтому рыб часто используют как биоиндикаторы качества воды на наличие металлов и других загрязняющих веществ [7]. Как известно, токсическое воздействие загрязняющих веществ может проявлять себя на клеточном или тканевом уровне, поэтому для оценки последствий такого воздействия используют методы гистопатологического анализа [8]. Качественные и количественные показатели гистологического анализа являются надежными биомаркерами проявления экологического стресса, так как

указывают на состояние жизненно важных органов рыб в данный конкретный момент [9]. Таким образом, исследование гистопатологии рыб может служить важным биомаркерным методом в мониторинге окружающей среды [10].

В настоящем исследовании изучено морфофункциональное состояние одного из промысловых видов рыб – белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) из реки Иле и Капшагайского водохранилища. Река Иле берет свое начало в Западной провинции Синьцзян КНР и впадает в Западный Балхаш (Казахстан) [11]. Река прерывается несколькими небольшими плотинами в Китае и одной большой плотиной на Капчагае в юго-восточном Казахстане. Водохранилище негативно повлияло на нижнее течение реки Иле путем изменения гидрологического цикла и к снижению вылова рыбы.

Целью настоящей работы явилось исследование содержания тяжелых металлов в поверхностных водах реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства, а также оценка гистопатологического состояния одного из промысловых видов рыб – белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*).

## **Материалы и методы исследования**

### ***Методики сбора воды и седиментов***

В пяти участках верхнего течения реки Иле (Уйгурский, Панфиловский район и Енбекшиказахский районы, Алматинская область), юго-восточной и северной части Капшагайского водохранилища производили сбор, консервацию и хранение проб поверхностных вод согласно Международным стандартам и утвержденным ГОСТам [12-13]. Отбор проб осуществлялся весной и в начале лета 2023 года на глубине 0,5-1,0 м. Пробоотборниками являлись химически стойкие чистые 1-5 литровые пластиковые емкости. Хранение и доставку до лаборатории проб воды осуществляли при низких температурах 0°C в сумках-холодильниках. Перед хранением и консервацией воду процеживали от водорослей через мелкопористое сито.

### ***Методики химического анализа поверхностных вод на содержание тяжелых металлов***

Важнейшим показателем качества среды обитания гидробионтов является степень чистоты поверхностных вод по содержанию тяжелых металлов, как стойких к биоремедиации и нака-

пливающих в организме [14]. В связи с этим во всех собранных пробах воды были определены тяжелые металлы согласно практическим руководствам и ГОСТам. Определение ТМ проводили после соответствующей пробоподготовки на атомно-абсорбционном спектрофотометре МГА-915 МД (г. Санкт-Петербург) [15].

### ***Методика приготовления гистологических препаратов***

Была изучена гистоструктура жабр, печени, кишечника 25 экземпляров взрослых особей белого толстолобика, отловленных на разных участках реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства в мае-июне 2023 года. Для этого, сразу после отлова рыб, кусочки органов размером 5 x 5 x 5 мм фиксировали в 10% нейтральном формалине в течение 10 дней. После фиксации кусочки органов промывались в проточной воде в течение 12–24 часов, затем обезвоживали 90% изопропиловым спиртом и заливали в парафин [16]. Затем изготавливались срезы толщиной 5-7 мкм, которые после удаления парафина и проведения по спиртам восходящей крепости, окрашивали краской гематоксилин и эозин. Затем заключали под покровное стекло в синтетическую среду Bio-Mount (Bio-Optica, Italy). Анализ окрашенных гистологических препаратов и их фотографирование производили с помощью микроскопа Leica DMLB2 с цифровой камерой Leica DFC 320 (Germany) при различных увеличениях.

### ***Методика морфометрического исследования***

На тех же гистологических препаратах с помощью специальной программы на микроскопе Leica DMLB2 было произведено определение количественных показателей жабр, печени и кишечника.

### ***Методика статистической обработки результатов***

Результаты количественных исследований подвергались статистической обработке. Во всех случаях определяли средние значения и ошибку средней величины. Достоверность различий средних величин оценивали, используя t-критерий Стьюдента. Различия считались достоверными при доверительной вероятности равной 0,95. Статистическую обработку и графическое представление материалов осуществляли с помощью приложения Microsoft Excel 7.0.

## Результаты и их обсуждение

### Исследование содержания тяжелых металлов в поверхностных водах

Пробы поверхностных вод были отобраны в пяти разных участках верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища, а также из прудового хозяйства в Алматинской области (Таблица 1).

С помощью атомно-абсорбционной спектрофотометрии в поверхностных водах из вышеуказанных участков реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства определяли содержание тяжелых металлов, как наиболее стойких, не подвергающихся биоремедиации поллютантов. На период исследования в поверхностных водах во всех пробах воды были выявлены следующие тяжелые металлы: Pb, Co, Mn, Cd, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr, однако содержание только трех из них: Pb, Zn, Cu превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Меньше всего относительно установленных нормативов ([https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE\\_CEP\\_185\\_Eng\\_0.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE_CEP_185_Eng_0.pdf)) было содержание тяжелых металлов в поверхностных водах прудового хозяйства (№6), поэтому их уровень был

взят за контрольный, а качество воды принято, как условно чистое. Содержание Pb в пробах воды превышало ПДК в точках №1 – №5 соответственно в 2,0; 1,6; 1,7; 1,5; 1,4 раза. Однако по сравнению с №6 содержание Pb в пробах воды в тех же точках №1 – №5 было значительно больше, соответственно в 5,0; 4,0; 4,3; 3,7; 3,6 раза. Содержание Zn в пробах воды также превышало ПДК, но только в точках №1 – №4, соответственно в 1,8; 1,6; 1,5; 1,3; 1,4 раза. В точке №5 содержание Zn было ниже ПДК. Сравнивая значения содержания Zn в точках №1 – №4 с пунктом №6, было установлено их превышение в 4,1; 3,6; 3,5; 1,8 раза. Содержание Cu превышало ПДК в пяти пунктах №1 – №5, соответственно – 3,1; 1,3; 1,4; 1,2; 1,5 раза, а по сравнению с участком №6 – в 4,4; 1,8; 2,0; 1,7; 2,1 раза. Таким образом, наибольшее превышение ПДК для Pb, Zn, Cu наблюдалось в поверхностных водах верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища близ города Конаев и в меньшей степени в его северной части (около насосных станций). Воды прудового хозяйства по содержанию ТМ были вполне пригодны для рыбозаведения.

**Таблица 1** – Координаты участков сбора материала на реке Иле и Капшагайском водохранилище (май-июнь 2023 года)

№	Название участков сбора материала	Широта	Долгота
1	Дубинская станция (Уйгурский район, Алматинская область)	43°52'40.5»N	78°18'30.3»E
2	Село Айдарлы (Панфиловский район, Алматинская область)	43°58'33.8»N	79°34'26.9»E
3	Село Курчилик (Енбекшиказахский район, Алматинская область)	43°45'36.3»N	80°14'24.0»E
4	Капшагайское водохранилище (плотина и город Конаев)	43°87'92.73»N	77°09'84.05»E
5	Капшагайское водохранилище (насосные станции)	43°90'34.10»N	77°25'86.44»E
6	Прудовое хозяйство в Алматинской области (контроль)	43°18'02.1»N	76°58'11.4»E

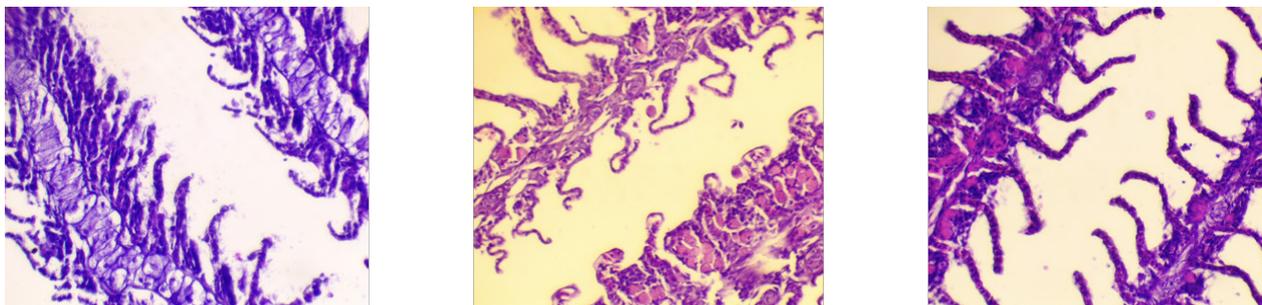
**Таблица 2** – Содержание ТМ в поверхностных водах из разных точек реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства, мкг/л (mean ± S.D.), май-июнь 2023 года

Точки исследования	Ni	Mn	Co	Pb	Cr	Fe	Zn	Cu	Cd
№ 1	1.7±0.1	6.4±0.2	3.1± 0.1	12.1± 0.2*	12.7±0.1	2.7± 0.1	18.0± 0.1*	3.1±0.2*	0.6± 0.1
№ 2	2.2±0.2	7.8± 0.1	3.5± 0.1	9.7± 0.1*	3.5± 0.2	2.4± 0.1	15.7± 0.2*	1.3±0.1*	0.8± 0.1
№ 3	1.9±0.1	9.5± 0.2	3.3± 0.1	10.5± 0.1*	3.7± 0.2	2.6± 0.1	15.3± 0.4*	1.4±0.1*	0.7± 0.1
№4	2.4±0.1	7.4± 0.1	3.0± 0.1	9.0± 0.1*	3.8± 0.1	24.5 ±0,1	13.7± 0.2*	1.2±0.1*	0.6± 0.1
№5	3.4± 0.1	2.9±0.6	2.5±0.2	8.7± 0.6*	3.9± 0.1	18.0±1.4	8.1±0.6	1.5±0.2*	0.4± 0.1
№ 6	0.4±0.1	3.8±0.5	1.1±0.2	2.4±0.3	1.2±0.1	2.5±0.5	4.3±0.1	0.7±1.0	0.1±0.1
ПДК (для ТМ рыбохозяйственных водоемов)	10.0	10.0	10.0	6.0	20.0	100.0	10.0	1.0	5.0
Примечание: *-P≤0,05 по сравнению с данными точки исследования №6 (прудовое хозяйство)									

**Исследование гистопатологии внутренних органов белого толстолобика**

У взрослых особей белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*), отловленных на разных участках реки Иле, Капшагайского водохранилища и в прудовом хозяйстве, было изучено морфофункциональное состояние внутренних органов дыхательной и пищеварительной систем (жабры, печень, кишечник). Гистологическое исследование жабер белого толстолобика из прудового хозяйства не выявило каких-либо серьезных нарушений в структуре органа: жаберные дуги (хрящ) были покрыты первичным жаберным эпителием (жаберная ламелла), представляющим собой многослойный эпителий, состоящий из хлоридных, слизистых, респиаторных, палочковидных и малодиффе-

ренцированных клеток. Поперек жаберной ламеллы были расположены складки, называемые вторичным жаберным эпителием (жаберные лепестки), в основном представленные респиаторными клетками, имеющими уплощенную форму (Рисунок 1, А). Ниже эпителия лежит соединительная ткань, содержащая кровеносные сосуды, которые снабжают кровью жаберные лепестки. В отличие от рыб из прудового хозяйства в жабрах белого толстолобика из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища были обнаружены гистопатологические изменения в виде полнокровия сосудов, отеков у основания жаберных пластинок и в покрывающем их вторичном эпителии: гиперплазия, слияние пластинок и эпителиальный некроз (Рисунок 1 Б, В).



**А**

**Б**

**В**

**Рисунок 1** – Гистоструктура жабер белого толстолобика из реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x 400.

А – из прудового хозяйства: структура жабер не нарушена; Б – из верхнего течения реки Иле: полнокровие сосудов, атрофия, деструкция ламелл, некроз эпителиальных клеток;

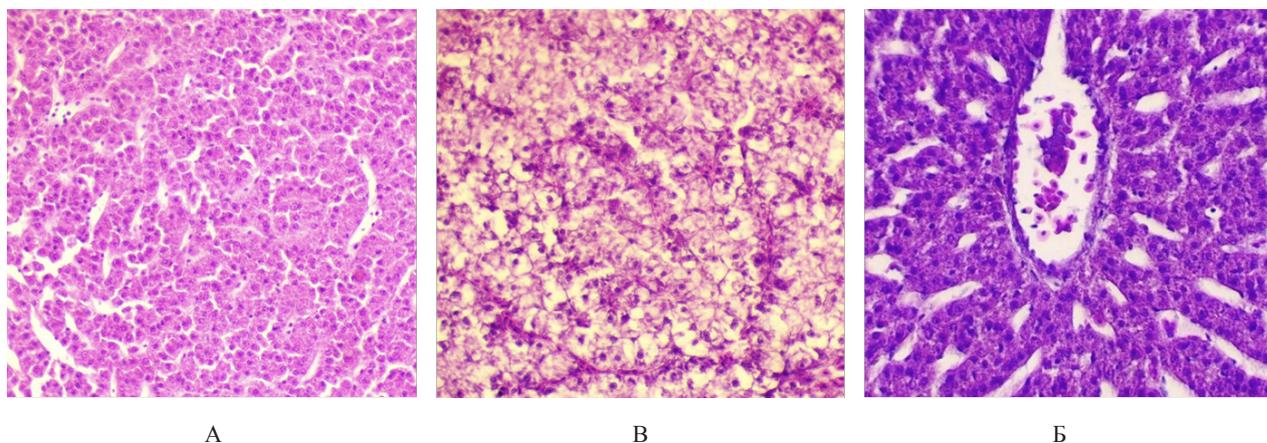
В – из Капшагайского водохранилища: утолщение эпителиальных пластинок и деструкция ламелл

Как известно, жабры, являясь многофункциональным органом, выполняющим жизненно важные функции в организме рыб (газообмен, осморегуляция, регуляция кислотно-щелочного баланса, выведение продуктов азотного обмена и др.), особенно чувствительны к изменению среды обитания [18]. Разными авторами было показано, что при загрязнении воды ТМ у рыб развиваются дегенеративные изменения жаберных лепестков второго порядка (ламелл), гиперплазия и некроз клеток жаберного эпителия, образование опухолей и язв [19-20]. Практически такие же нарушения в строении жабр мы наблюдали у белого толстолобика из разных участков верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища.

Из внутренних органов пищеварительной системы нами были исследованы печень и кишечник белого толстолобика. Печень, как большая пищеварительная железа и основной орган детоксикации проникающих в организм ядов, очень чувствительна к загрязнению среды обитания гидробионтов [21]. Печень вырабатывает желчь и выводит через нее продукты метаболизма и накопленные токсиканты, а также с помощью ферментов семейства цитохромов P450 участвует в их обезвреживании [22]. Как известно, все эти функции выполняют гепатоциты, которые занимают 85 % объема паренхимы печени у костистых рыб. Поэтому при описании гистоструктуры печени большое внимание обращается на структурные изменения в гепа-

тоцитах. Если в печени белого толстолобика из прудового хозяйства гепатоциты формировали расходящиеся от центральной воротной вены радиальные тяжи нормальных по структуре гепатоцитов (полигональные клетки с центрально расположенным ядром) (Рисунок 2, А), то у рыб из верхнего течения реки Иле они теряли радиальность и демонстрировали гидропическую дистрофию и некроз гепатоцитов, а также склероз на месте погибших клеток и вдоль сосудов (Рисунок 2, Б). А у рыб из Капшагайского водохранилища наряду с деструктивными про-

цессами в гепатоцитах, наблюдались признаки расстройства кровообращения: полнокровные сосуды, расширение пространств Диссе (Рисунок 2, В). Токсиканты попадают в организм рыб не только через жабры, но и желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) с водой и пищей, разносятся кровью и лимфой, вызывая изменения в строении и функциях внутренних органов. Поэтому, изменения гистоструктуры печени и других органов ЖКТ могут быть биомаркерами чувствительности рыб к стрессовым факторам окружающей среды [21].



**Рисунок 2** – Гистоструктура печени толстолобика из реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x 400.

- А – прудовое хозяйство: нормальная структура печени (печеночные балки имеют радиальное расположение, гепатоциты интенсивно окрашены с ядром; Б – из верхнего течения реки Иле: гидропическая дистрофия и некроз гепатоцитов, склероз на месте погибших клеток и вдоль сосудов;  
В – из Капшагайского водохранилища: полнокровные сосуды, расширение пространств Диссе.

Из органов ЖКТ также была изучена структура тонкого кишечника белого толстолобика из исследуемых водоемов, как органа пищеварения и всасывания переваренных продуктов. Строение тонкого кишечника очень чувствительно к изменениям в пищевом рационе и качеству поглощаемых веществ. При этом, было установлено, что гистоструктура кишечника белого толстолобика из прудового хозяйства была в пределах нормы (рис.3А). Стенка кишечника была представлена всеми четырьмя оболочками: слизистой, подслизистой, мышечной и серозной. Все они плотно прилегали друг к другу. Слизистая оболочка имела характерный для нормы складчатый рельеф, благодаря наличию складок ворсинок и крипт. Ворсинки были представлены эпителиальными клетками призматической формы с ядрами по середине. Крипты представлены

пролиферирующими (делящимися) и дифференцирующимися клетками. Функционирующие эпителиальные клетки расположены на поверхности ворсинок. В отличие от этого гистоструктура кишечника белого толстолобика из реки Иле (верхнее течение) демонстрировала утолщение серозной оболочки, расслоение мышечного слоя и сильный отек подслизистой основы (рис.3 Б). В результате чего слизистая оболочка отслаивалась и практически петлями «свисала» в просвет кишки. В подслизистой оболочке выявлялись многочисленные очаги воспалительных клеток. У белого толстолобика из Капшагайского водохранилища (близ г.Конаев) в гистоструктуре кишечника также были выявлены деструктивные процессы в виде слущивания эпителиоцитов на верхушках кишечных ворсин и некротических масс в просвете кишки (рис.3.В).



**Рисунок 3** – Гистоструктура кишечника толстолобика из реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x 200.

А – прудовое хозяйство: нормальная структура кишечника (все слои хорошо выражены мышечный слой прилегает к подслизистой основе, кишечные ворсинки с неповрежденными эпителиоцитами;

Б – из верхнего течения реки Иле: видны процессы расслоения оболочек стенки кишки, отек подслизистого слоя, воспалительные инфильтраты, истончение ворсинок и их отслоение;

В – из Капшагайского водохранилища: слущивание эпителиоцитов на верхушках кишечных ворсин

### Результаты морфометрического анализа

Как видно из таблицы 3, измеренные показатели внутренних органов (жабр, печени, кишечника) у белого толстолобика из разных участков реки Иле, Капшагайского водохранилища, прудового хозяйства количественно отражают вышеописанные гистопатологические наблюдения. Так, средняя площадь, занимаемая отечной соединительной тканью у оснований жаберных пластинок, была высокой у белого толстолобика из разных участков реки Иле (№1- №3) и Капшагайского водохранилища близ г. Конаев (№4), низкой у рыб из северной части Капшагайского водохранилища (№5) и практически не обнаруживалась у рыб

из прудового хозяйства. Длина ламелл, наоборот, уменьшалась в той же последовательности. Количество дистрофически измененных и некротизированных гепатоцитов в сотни и десятки раз было выше у рыб из точек исследования №1- № 4 и меньше из № 5- №6, а изменение числа интактных (неповрежденных) клеток имело обратную тенденцию. Высота кишечных ворсинок и глубина крипт также достоверно уменьшались у белого толстолобика из пунктов исследования № 1-№4 по сравнению с № 5- №6. Количество воспалительных инфильтратов в подслизистой основе кишечника было высоким у рыб из пунктов исследования № 1-№4 также по сравнению с №5- №6.

**Таблица 3** – Результаты морфометрического исследования органов белого толстолобика из разных участков реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства (mean ± S.D.), май-июнь 2023 года

Точки исследования	Жабры		Печень			Кишечник		
	Средняя площадь отека у оснований жаберных пластинок, мм <sup>2</sup>	Длина ламелл, мкм	Кол-во дистрофических гепатоцитов	Кол-во некротизированных гепатоцитов	Кол-во интактных гепатоцитов	Высота ворсинок, мкм	Глубина крипты, мкм	Кол-во воспалительных инфильтратов
№ 1	7.6 ± 1.2***	65.1±3.3**	155.0 ± 10.0***	89.0 ± 5.4***	10 478 ± 96**	64.8 ± 3.8**	70.5 ± 3.5**	10.6 ± 2.2**
№ 2	5.6 ± 1.6***	69.8 ± 5.2**	130.6 ± 17.2***	68.4 ± 4,8***	11 564 ± 56**	85.2 ± 5,8**	78.8 ± 3.8**	9.2 ± 2.4**
№ 3	3.8 ± 0.9***	77.0 ± 5.0**	123.8 ± 16.2***	58.6 ± 3,8***	12982 ± 95**	98.4 ± 6.3**	85.6 ± 4.5**	8.8 ± 1.9**

Точки исследования	Жабры		Печень			Кишечник		
	Измененные показатели	Средняя площадь отека у оснований жаберных пластинок, мм <sup>2</sup>	Длина ламелл, мкм	Кол-во дистрофических гепатоцитов	Кол-во некротизированных гепатоцитов	Кол-во интактных гепатоцитов	Высота ворсинок, мкм	Глубина крипты, мкм
№4	6.1 ± 1.4***	55.6 ± 3.4**	162.5 ± 15.0***	64.0 ± 5.3***	10 592 ± 52*	84.2 ± 5.8**	65.5 ± 5.2**	9.5 ± 1.3**
№5	1.2 ± 0.5**	115.5 ± 8.6	12.0 ± 1.5*	1.0 ± 0.2*	15 450 ± 72*	112.7 ± 5.8*	90.5 ± 5.5**	1.8 ± 0.4*
№6	0.0 ± 0.0	116.8 ± 8.4	11.0 ± 1.5	0.0 ± 0.0	16 554 ± 53	114.8 ± 5.8	120.7 ± 1.2	0.5 ± 0.0

Примечание: \*-P≤0,05; \*\* – P≤0,01; \*\*\*-P≤0,001 по сравнению с данными точки исследования №6 (прудовое хозяйство)

Таким образом, на основании результатов гистологических и морфометрических исследований можно заключить, что самая высокая встречаемость рыб с гистопатологиями жабр, печени и кишечника наблюдается в реке Иле (верхнее течение) и в Капшагайском водохранилище около плотины и г. Конаев (№1 – №4), в меньшей степени в северной части Капшагайского водохранилища около насосных станций (№5). Рыбы из прудового хозяйства (№6) можно считать практически здоровыми. Эти данные соотносятся с содержанием ТМ в воде на исследованных участках, то есть, по-видимому, происходит их биоаккумуляция во внутренних органах рыб, что и приводит к деструктивным процессам в организме.

### Заключение

Проведенный гидрохимический анализ поверхностных вод из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища показал присутствие следующих тяжелых металлов: Ni, Mn, Co, Pb, Cr, Fe, Zn, Cu, Cd, три из которых: Pb, Zn и Cu превышали уровень ПДК<sub>рх</sub>. В то же время содержание ТМ в поверхностных водах прудового хозяйства было в пределах нормативных значений. Выявленное увеличение содержания ТМ в поверхностных водах реки Иле и Капшагайского водохранилища в мае-июне 2023 года, вероятно, является следствием трансграничного загрязнения стока с территории сопредельных государств (КНР и РК) [23]. Исследование гистоструктуры органов белого толстолобика из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища выявило следующие изменения: в жабрах белого толстолобика из реки Иле

и Капшагайского водохранилища наблюдались гистопатологические изменения в виде отеков у основания пластинок и в покрывающем их вторичном эпителии (ламеллы), гиперплазия, слияние пластинок и эпителиальный некроз, полнокровие; в печени преобладали деструктивные процессы в виде расстройств кровообращения, межтрабекулярного и вокруг сосудистого отека, гидropической дистрофии и некроза клеток паренхимы органа; в кишечнике обнаруживались все признаки воспалительных и некротических процессов в виде отека подслизистой основы, некроза и слушивания эпителиальных клеток. Гистопатологические наблюдения полностью подтверждались морфометрическим анализом структурных элементов в различных органах. Наблюдаемые гистопатологические изменения в различных органах белого толстолобика, вероятно, происходят в результате накопления тяжелых металлов Pb, Zn и Cu, уровень которых превышал нормы ПДК<sub>рх</sub> из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища. Также, вероятно, длительное накопление других микроэлементов и металлов-токсикантов даже в незначительных количествах способно вызвать изменения в биохимических реакциях, а затем и в структуре органов. Белый толстолобик, как известно, питается фитопланктом, который может в значительной степени накапливать ТМ из воды. Попадая в организм, в отличие от органических токсикантов, тяжелые металлы не подвергаются каким-либо существенным превращениям и включившись в биохимический цикл, они крайне медленно выводятся из него [24]. Как правило, ТМ входят в комплекс с белками, аминокислотами и другими биологически активными соединениями, поэтому могут

вызвать нарушение биохимических и физиологических функций организма, отравление и гибель рыб [25]. Кумуляция вредных веществ тканями промысловых рыб создает угрозу влияния на организм человека через рыбные продукты, употребляемые в пищу. Введение в аквакультуру белого толстолобика и других промысловых рыб на прудовых хозяйствах РК с чистой водой может быть одним из путей решения продовольственной программы.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках грантового проекта Комитета науки Министерства науки и высшего образования [AP14869740] «Биотестирование воды и донных отложений реки Иле и Капшагайского водохранилища, прогнозирование экологического риска для биоразнообразия исследуемых экосистем». Научный руководитель – д.б.н., профессор Т.М.Шалахметова

## Литература

1. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; WHO: Geneva, Switzerland, 2011; pp. 155–202.
2. Иваненко Н.В., Экологическая токсикология: учебное пособие. Владивосток: ВГУЭС. – 2006. – С. 108.
3. Хуснутдинова Р.Л., Исхакова А.Т., Содержание тяжелых металлов в тканях и органах рыб реки белая // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 2 (23).
4. Sardar, K.; Ali, S.; Hameed, S.; Afzal, S.; Fatima, S.; Shakoор, M.B.; Bharwana, S.A.; Tauqeer, H.M. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. Greener J. Environ. Manage. Public Safety 2013, 2, 172–179.
5. WHO. Water-Related Diseases; Lead Poisoning. Available online: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/lead/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/lead/en/) (accessed on 1 May 2015).
6. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: монография. М.: Наука. 2009. 400 с.
7. Paul K.S. Lam. Use of biomarkers in environmental monitoring. // Ocean & Coastal Management. – 2009. – No52. – P.348- 354.
8. Zhang W, Ma L, Abuduwaili J, Ge Y, Issanova G, Saparov G. (2020) Distribution characteristics and Assessment of heavy metals in the surface water of the Syr Darya River, Kazakhstan. Pol J Environ Studies 29(1): 979-988.
9. Будников Г.Н. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – No 5. – С.23-29.
10. Чемагин, А. А. Биоаккумуляция тяжелых металлов двумя видами бентосоядных рыб: стерлядь *Acipenser ruthenus* и лещ *Abramis brama* (обзор данных) / А. А. Чемагин, Г. И. Волосников // Евразийское Научное Объединение. – 2018. – No 9-1 (43). – С.42-45. – DOI 10.5281/zenodo.1443461. – EDN VBHCAY.
11. Burlibaev M. Zh., Dostaj Zh.D., Mirhashimov I., Nikolaenko A.Ju. Sovremennoe sostojanie hozjajstvennoj dejatel'nosti v Ile-Balhashskom bassejne. Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v Ile-Balkashskom bassejne. UNDP. – Almaty, 2011. – S. 3-16.
12. Water quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programs (Качество воды. Отбор проб. Руководство по составлению программ отбора проб) // Международный стандарт. ISO 5667-1:1982.
13. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб // Межгосударственный стандарт. – 2012. – 25с. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной воды: практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.
14. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной воды: практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.
15. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. – Москва: Мир, 1976. – 235 с.
16. Ромейс Б. Микроскопическая техника / Пер. с нем. проф. В. Я. Александрова и З. И. Крюкова; под ред. и с предисл. проф. И. И. Соколова. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1954. – 719 с.
17. Минеев А.К. Морфофункциональные изменения у леща *Abramis brama* Саратовского водохранилища // Вопросы рыболовства, 2015, том 16, №3; с. 332-350.
18. Lawrens A.J., Arukwe A., Moor M. et al. Mollecular/cellular processes and the physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish / Ed. A.J. Lawrens, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Sci., 2003. P. 83 – 133.
19. Parashar Ram Sanehi, Banerjee Tarun Kumar Toxic impact of lethal concentration of lead nitrate on the gills of air-breathing catfish (*Heteropneustes fossilis* (Bloch)) // Ver. Arh. 2002. – 72, № 3. P. 167 –183.
20. Heath A.G. Water Pollution and Fish Physiology. L.: Lewis Publ., 2002. 506 p.
21. Rashid Alijani Ardeshir, Abdolali Movahedinia\*, dna Sara Rastga. Fish Liver Biomarkers for Heavy Metal Pollution: A Review Article// American Journals of Toxicology 2017, 2:1-8.
22. Mitra V and Metcalf J. Metabolic functions of the liver// Anaesth Intensive Care Med. 2009,10(7):334-335.
23. Э.А. Турсунов. Возможные изменения качества поверхностных вод на трансграничном посту р. Или – пр. Дубунь// Гидрометеорология и экология. -2011.-№2.-с. 11-20.
24. Т.А. Лобанова. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб// Вестник КГУ им. Н.А.Некрасова, 2008, №3, с. 22-24.
25. Manoj Kumar, Shefalee Singh, Anamika Jain, Seema Yadav, Aastha Dubey, Sunil P. Trivedi A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes// Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.-2024 – <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377>

## References

1. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; WHO: Geneva, Switzerland, 2011; pp. 155–202.
2. Ivanenko N.V., Environmental toxicology: textbook. Vladivostok: VGUES. – 2006. – P. 108.
3. Khusnutdinova R.L., Iskhakova A.T., The content of heavy metals in the tissues and organs of fish in the White River // Samara Scientific Bulletin. 2018. T. 7. Ne 2 (23).
4. Sardar, K.; Ali, S.; Hameed, S.; Afzal, S.; Fatima, S.; Shakoor, M.B.; Bharwana, S.A.; Tauqeer, H.M. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. Greener J. Environ. Manage. Public Safety 2013, 2, 172–179.
5. WHO. Water-Related Diseases; Lead Poisoning. Available online: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/lead/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/lead/en/) (accessed on 1 May 2015).
6. Moiseenko T.I. Aquatic ecotoxicology: monograph. M.: Science. 2009. 400 p.
7. Paul K.S. Lam. Use of biomarkers in environmental monitoring. // Ocean & Coastal Management. – 2009. – No52. – P.348-354.
8. Zhang W, Ma L, Abuduwaili J, Ge Y, Issanova G, Saparov G. (2020) Distribution characteristics and Assessment of heavy metals in the surface water of the Syr Darya River, Kazakhstan. Pol J Environ Studies 29(1): 979-988.
9. Budnikov G.N. Heavy metals in environmental monitoring of water systems // Soros educational journal. – 1998. – No. 5. – P.23-29.
10. Chemagin, A. A. Bioaccumulation of heavy metals in two species of benthic fish: sterlet *Acipenser ruthenus* and bream *Abramis brama* (data review) / A. A. Chemagin, G. I. Volosnikov // Eurasian Scientific Association. – 2018. – No. 9-1 (43). – P.42-45. – DOI 10.5281/zenodo.1443461. -EDN VBHCAY.
11. Burlibaev M. Zh., Dostaj Zh.D., Mirhashimov I., Nikolaenko A.Ju. Sovremennoe sostojanie hozjajstvennoj dejatel'nosti v Ile-Balhashskom bassejne. Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v Ile-Balkashskom bassejne. UNDP. – Almaty, 2011. – S. 3-16.
12. Water quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programs (Water quality. Sampling. Guidelines for designing sampling programs) // International standard. ISO 5667-1:1982.
13. GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling // Interstate standard. – 2012. – 25 p. Drugov Yu. S., Rodin A. A. Analysis of contaminated water: a practical guide. – M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2012. – 678 p.
14. Drugov Yu. S., Rodin A. A. Analysis of contaminated water: a practical guide. – M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2012. – 678 p.
15. Price V. Analytical atomic absorption spectroscopy. – Moscow: Mir, 1976. – 235 p.
16. Romeis B. Microscopic technology / Transl. with him, prof. V. Ya. Alexandrov and Z. I. Kryukova; Ed. and with a preface. prof. I. I. Sokolova. – Moscow: Foreign publishing house. lit., 1954. – 719 p.
17. Mineev A.K. Morphofunctional changes in the bream *Abramis brama* of the Saratov reservoir // Fisheries Issues, 2015, volume 16, No. 3; With. 332-350.
18. Lawrens A.J., Arukwe A., Moor M. et al. Molecular/cellular processes and the physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish / Ed. A.J. Lawrens, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Sci., 2003. P. 83 – 133.
19. Parashar Ram Sanehi, Banerjee Tarun Kumar Toxic impact of lethal concentration of lead nitrate on the gills of air-breathing catfish (*Heteropneustes fossilis* (Bloch)) // Ver. Arh. 2002. – 72, No. 3. P. 167 –183.
20. Heath A.G. Water Pollution and Fish Physiology. L.: Lewis Publ., 2002. 506 p.
21. Rashid Alijani Ardeshir, Abdolali Movahedinia\*, dna Sara Rastga. Fish Liver Biomarkers for Heavy Metal Pollution: A Review Article // American Journals of Toxicology 2017, 2: 1-8.
23. E.A. Tursunov. Possible changes in the quality of surface water at the transboundary post of the river. Or – Dubun Ave. // Hydrometeorology and Ecology. -2011.-No.2.-p. 11-20.
24. T.A. Lobanova. Peculiarities of accumulation of heavy metals in commercial fish species // Bulletin of KSU named after. N.A. Nekrasova, 2008, No. 3, p. 22-24.
22. Mitra V and Metcalf J. Metabolic functions of the liver // Anaesth Intensive Care Med. 2009,10(7):334-335.
25. Manoj Kumar, Shefalee Singh, Anamika Jain, Seema Yadav, Aastha Dubey, Sunil P. Trivedi A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. -2024 – <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377>

### **Сведения об авторах:**

*Шалахметова Тамара Минажевна – доктор биологических наук, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии Казахского Национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, email: [t\\_shalakhmetova@mail.ru](mailto:t_shalakhmetova@mail.ru))*

*Уахитқанова Фанижамал Ардаққызы – магистр естественных наук Казахского Национального университета имени аль-Фараби кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, email: [genetics.uakhtg@gmail.com](mailto:genetics.uakhtg@gmail.com))*

*Кожжахметова Диана Дарханқызы – магистрант Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, e-mail: [ddiyeol@mail.ru](mailto:ddiyeol@mail.ru))*

*Тленишьева Аршын Муратқызы – докторант Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, e-mail: [arshynmuratkyzy@gmail.com](mailto:arshynmuratkyzy@gmail.com))*

*Чекимбаева Дарина Талгатовна – стажер-исследователь Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, e-mail: dchekimbaeva@mail.ru)*

**Information about authors:**

*Tamara Shalakhmetova (corresponding author) – doctor of biological sciences, professor of the Department of Biodiversity and bioresources of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: t\_shalakhmetova@mail.ru)*

*Uakhitkanova Ganizhamal Ardakkyzy (corresponding author) – Master of Natural sciences of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and (Almaty, Kazakhstan, email: genetics.uakhitg@gmail.com)*

*Diana Kozhakhmetova – Master student of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and bioresources of the Biology and biotechnology faculty (Almaty, Kazakhstan) email: ddiyeol@mail.ru)*

*Tlenshiyeva Arshyn – Doctor student of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and bioresources of the biology and biotechnology faculty (Almaty, Kazakhstan email: arshynmuratkyzy@gmail.com)*

*Chekimbayeva Darina – trainee-researcher of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and bioresources of the biology and biotechnology faculty (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dchekimbaeva@mail.ru)*

*Поступила 9 июля 2024 года  
Принята 25 декабря 2024 года*