

Д.А. Тастан¹, А. Дуйсен¹, Л.Р. Сутуева¹, А. Тленшиева¹,
Т. Конысбаев¹, Т.М. Шалахметова*¹

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

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

ГИСТОПАТОЛОГИЯ ОРГАНОВ БЕЛОГО АМУРА (*CTENOPHARYNGODON IDELLA*) ИЗ РЕКИ ИЛЕ И КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Экосистемы Иле-Балхашского региона в последние годы подвергаются антропогенному прессингу, что приводит к снижению биоразнообразия, в том числе, промысловых рыб. В настоящем исследовании с помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии было определено содержание тяжелых металлов в поверхностных водах и донных отложениях реки Иле (верхнее течение, Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища. Из 9 определяемых ТМ превышение ПДК было установлено для Fe > Zn > Pb > Cd. Накопление данных ТМ обнаружено также в органах (жабрах, печени, толстом кишечнике, почках) у особей белого амура, отловленных на разных участках исследуемых водоемов. С помощью гистологических и морфометрических методов оценивалось морфофункциональное состояние белого амура и выявлены деструктивные изменения в этих же органах. При этом установлено, что характер и количественные показатели гистопатологических изменений зависят от уровня накопления ТМ и места отлова. При этом наибольшие структурные изменения обнаружены в органах у особей белого амура из реки Иле (верхнее течение) по сравнению с рыбами из юго-восточной части Капшагайского водохранилища. В жабрах выявлены гиперплазия, слияние пластинок, некроз и отек жаберного эпителия. В печени обнаружены расширения пространств Диссе, синусоидов, дистрофия и некроз гепатоцитов, многочисленные меланомacroфагальные скопления. В толстом кишечнике – расслоение тканей стенки: мышечной, серозной, подслизистой и слизистой основы, некроз энтероцитов. В почках наблюдались: сморщивание и расхождение капилляров в сосудистых клубочках, увеличение боуменового пространства, дистрофические и некробиотические изменения эпителиоцитов проксимальных и дистальных почечных канальцев. Сделано заключение о том, что тяжелые металлы, биоаккумулированные в тканях и органах белого амура, впоследствии ухудшают их гистопатологическое состояние и, таким образом, влияют на состояние здоровья рыб. Выявленные гистопатологические эффекты могут являться биомаркерами состояния водной среды.

Ключевые слова: река Иле, Капшагайское водохранилище, тяжелые металлы, белый амур, гистопатология.

D.A. Tastan, A. Duisen, L.R. Sutueva, A. Tlenshieva,
T. Konysbaev, T.M. Shalakhmetova*

Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

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

Histopathology of organs of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) from the Ile river and the Kapshagay reservoir

The ecosystems of the Ile-Balkhash region have been subjected to anthropogenic pressure in recent years, which leads to a decrease in biodiversity, including commercial fish. In the present study, using the method of atomic absorption spectroscopy, the content of heavy metals in the surface waters and bottom sediments of the Ile River (upper reach, Panfilovsky district, Almaty region) and the southeastern part of the Kapshagay reservoir was determined. An excess of MPC among the 9 determined HMs, was found for Fe > Zn > Pb > Cd. The accumulation of these HMs was also found in organs (gills, liver, large intestine, kidneys) of grass carp caught in different parts of the studied water bodies. With the help of histological and morphometric methods, the morpho-functional state of grass carp was assessed and destructive changes in the same organs were revealed. At the same time, it was found that the nature and quantitative indicators of histopathological changes depend on the level of HM accumulation and the place of capture. At the same time, the greatest structural changes were found in the organs of grass carp from the Ile River (upper reach) compared with fishes from the southeastern part of the Kapshagay reservoir. In the gills, hyperplasia, fusion of the plates, necrosis and edema of the gill epithelium were

revealed. Expansion of spaces of Disse, sinusoids, dystrophy and necrosis of hepatocytes, numerous melanomacrophage accumulations were found in the liver. In the large intestine – stratification of wall tissues: muscular, serous, submucosal and mucous bases, necrosis of enterocytes. In the kidneys, wrinkling and divergence of capillaries in the vascular glomeruli, an increase in the Bowman space, dystrophic and necrobiotic changes in the epitheliocytes of the proximal and distal renal tubules were observed. It was concluded that heavy metals bioaccumulated in the tissues and organs of grass carp subsequently worsen their histopathological state and, thus, affect the health of fish. The revealed histopathological effects can be biomarkers of the state of the aquatic environment.

Key words: Ile river, Kapshagay reservoir, heavy metals, grass carp, histopathology.

Д.А. Тастан, А. Дүйсен, Л.Р. Сутуева, А. Тленшиева,
Т. Конысбаев, Т.М. Шалахметова*

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

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

Іле өзені және Қапшағай су қоймасындағы ақ амурдың (*Ctenopharyngodon idella*) органдарының гистопатологиясы

Іле-Балқаш өңірінің экожүйелері соңғы жылдары антропогендік қысымға ұшырауда, бұл биоалуантүрліліктің, оның ішінде кәсіптік балықтардың азаюына алып келеді. Бұл зерттеуде атомдық абсорбциялық спектроскопия әдісін қолдана отырып, Іле өзенінің (жоғарғы ағысы, Алматы облысы Панфилов ауданы) және Қапшағай су қоймасының оңтүстік-шығыс бөлігіндегі жер үсті сулары мен түп шөгінділеріндегі ауыр металдардың мөлшері анықталды. Анықталған 9 ауыр металдың ішінен $Fe > Zn > Pb > Cd$ үшін ШПК артықтығы анықталды. Зерттелетін су аймақтарының әр жерінен ауланған амур балықтарының ағзаларында (желбезінде, бауырында, тоқ ішегінде, бүйрегінде) де жинақталғаны анықталды. Гистологиялық және морфометриялық әдістердің көмегімен амур балықтарының морфо-функционалдық жағдайы бағаланып, сол мүшелердегі деструктивті өзгерістер анықталды. Сонымен бірге гистологиялық өзгерістердің сипаты мен сандық көрсеткіштері ауыр металдың жинақталу деңгейіне және балық аулау орнына байланысты екені көрсетілді. Бұл ретте Қапшағай су қоймасының оңтүстік-шығыс бөлігіндегі балықтармен салыстырғанда Іле өзенінің (жоғарғы ағыс) ақ амурдың органдарында үлкен құрылымдық өзгерістер анықталды. Желбезектерде гиперплазия, пластинкалардың бірігуі, желбезек эпителийінің некрозы және ісінуі анықталды. Бауырда Disse кеңістіктерінің кеңеюі, синусоидтар, гепатоциттердің дистрофиясы мен некрозы, көптеген меланомакрофагтардың жинақталуы анықталды. Тоқ ішекте – қабырға тіндерінің стратификациясы: бұлшықетті, серозды, шырышты асты және шырышты негіздер, энтероциттердің некрозы. Бүйректерде: тамырлы гломерулада капиллярлардың мыжылуы және дивергенциясы, Боуман кеңістігінің ұлғаюы, проксимальды және дистальды бүйрек түтікшелерінің эпителиоциттерінде дистрофиялық және некробиотикалық өзгерістер байқалды. Амур балықтарының ұлпалары мен мүшелерінде жиналған ауыр металдар кейіннен олардың гистопатологиялық күйін нашарлатады және осылайша балықтардың денсаулығына әсер етеді деген қорытынды жасалды. Анықталған гистопатологиялық әсерлер су ортасының жағдайының биомаркерлері болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Іле өзені, Қапшағай су қоймасы, ауыр металдар, ақ амур, гистопатология.

Введение

Трансграничная река Иле, которая формируется на территории Синьцзян-Уйгурского автономного района Китайской Народной Республики, где для нужд орошаемого земледелия и энергетики построены и продолжают возводиться крупные гидротехнические сооружения [1]. Чрезмерный забор воды в верхнем течении реки и ее загрязнение различными ксенобиотиками может привести к резкому сокращению видового разнообразия и, безусловно, сказаться на здоровье местного населения [2]. Река Иле является основной водной артерией юго-восточного региона Казахстана. Река обеспечивает до 80

% всего притока воды в озеро Балхаш, впадая в западную часть озера. В 60-70-е годы для регулирования стока реки Иле было построено Капшагайское водохранилище. В настоящее время этот искусственный водоем – второй по величине в Казахстане, является не только источником гидравлической энергии, получаемой на Капшагайской ГЭС, но и используется для нужд ирригации, рыбоводства и является рекреационно-курортной зоной для жителей мегаполиса Алматы и Алматинской области. По данным РГП «Казгидромет» Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан за I полугодие 2020 г. качество воды в реке Иле и водохранилища Капшагай оценива-

ется как 2 и 1 класс согласно Единой системы классификации качества воды в водных объектах [3]. Негативное воздействие на экосистемы Иле-Балкашского бассейна оказало не только строительство Капшагайского водохранилища, но и хозяйственная деятельность крупных населенных пунктов – села Баканас и г. Капшагай (ныне Конаев). В районе села Баканаса располагается большой Акдалинский массив рисосеяния. Степень загрязненности может меняться в зависимости от сезона и хозяйственной активности местного населения.

Большинство водных объектов, подверженных антропогенной нагрузке, могут содержать разнообразные загрязняющие вещества с токсической активностью, которые могут перемещаться в водной среде на большие расстояния от источника загрязнения [4]. Особенную опасность для гидробионтов представляют тяжелые металлы, как неразлагаемые и накапливающиеся в организме [5].

Все вышесказанное свидетельствует о важности и необходимости проведения комплексного исследования состояния воды, донных отложений, гидробионтов реки Иле и Капшагайского водохранилища, воды которых активно используются населением в различных сферах деятельности, в том числе, для рыбозаводства.

Целью настоящей работы явилось исследование содержания тяжелых металлов в поверхностных водах и донных отложениях реки Иле и Капшагайского водохранилища, а также в органах одного из промысловых видов рыб – белого амура (*Ctenopharyngodon idella*) и оценка их гистопатологического состояния.

Материал и методы исследования

Методики сбора воды и осадков

В 10 контрольных точках исследуемых участков верхнего течения реки Иле (Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища производили сбор, консервацию и хранение проб поверхностных вод согласно Международным стандартам и утвержденным ГОСТам [6-7]. Отбор пробы воды осуществляли 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. Перед отбором проб

воды и осадков производили определение ряда параметров воды с помощью следующих приборов: температуру, общую минерализацию (растворенные в воде соли) и электропроводность измеряли с помощью портативного анализатора TDS&EC-метра (Barry Century, Китай), значение pH – портативного анализатора pH-метра PH-009(I) (Barry Century, Китай), окислительно-восстановительный потенциал – портативного анализатора ORP-метра ORP169E (Barry Century, Китай), содержание растворенного кислорода – портативного анализатора DO-метра DO-pen type (Alvin Instrument, Китай).

В тех же точках исследования также в соответствии с Международными стандартами и утвержденными ГОСТами [8-10] осуществляли отбор донных отложений (осадков) на глубине от 1 до 2 метров с помощью дночерпателей, краг и стратиметров (трубок различных диаметров). В зависимости от анализируемых загрязняющих веществ и свойств донных отложений перед хранением в пробы добавляли различные консервирующие вещества (кислоты). Пробы донных отложений хранили в охлажденном (от 0 до минус 3°C) состоянии.

Методики химического анализа воды и осадков, органов рыб и амфибий на содержание тяжелых металлов

Важнейшим показателем качества среды обитания гидробионтов является степень чистоты поверхностных вод и донных отложений по содержанию тяжелых металлов [11]. В связи с этим во всех собранных пробах воды и осадков 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) [12-14].

Кроме химического анализа проб воды и осадков, проводили физико-химический анализ проб различных тканей и органов (жабры, легкие, мышцы, печень), белого амура (*Ctenopharyngodon idella*). Содержание ТМ определяли в пробах биологических образцов с помощью метода атомно-абсорбционной спектрофотометрии, на вышеназванном приборе. Для определения концентрации ТМ кусочки органов и тканей взвешивали и высушивали при комнатной температуре. Кусочки органов помещали в фторпластиковый стакан со смесью 2 мл концентрированной HNO₃ и 1,5 мл концентрированной HClO₄. Фторпластиковый стакан устанавливали

в герметично закрывающийся стальной стакан, который ставили в сушильный шкаф на 3 часа при температуре 105°C. После охлаждения полученный раствор переливали в пробирку, доводя объем раствора дистиллированной водой до 10 мл [15 – 16].

Измерение концентрации ТМ производили на атомно-абсорбционном спектрофотометре МГА-915 МД (г. Санкт-Петербург) в атомно-абсорбционном режиме при длинах волн, соответствующих каждому исследуемому металлу.

Содержание металла выражали мкг/г сырой ткани, используя формулу (1):

$$C = \gamma V k / P \quad (1)$$

где С-содержание металла; γ – концентрация; V – объем раствора, мл; k – коэффициент разбавления, кратный 10; P – навеска ткани, г.

Методика приготовления гистологических препаратов

Кусочки органов размером 5 x 5 x 5мм фиксировали в 10% нейтральном формалине в течение 10 дней. После фиксации кусочки органов промывались в проточной воде в течение 12–24 часов, затем обезживали 90% изопропиловым спиртом и заливали в парафин [17]. 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 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

Содержание тяжелых металлов в поверхностных водах и донных отложениях реки Иле (верхнее течение, Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища

Результаты данного исследования представлены на рисунках 1-2. В соответствии с ежемесячными данными Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан о состоянии объектов окружающей среды, представленными в выпусках Информационного экологического вестника, многие водоемы Казахстана, в том числе р.Иле, загрязнены в большей степени тяжелыми металлами [1]. В связи с этим проводилось исследование в поверхностных водах и донных отложениях реки Иле (верхнее течение Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища на содержания тяжелых металлов. При этом определялись классы опасностей и ПДК (предельно- допустимая концентрация) этих тяжелых металлов для рыбохозяйственных водоемов, установленных в соответствии с ГОСТ. 17.4.1.0283 [2]. Выявление ТМ в поверхностных водах и седиментов проводилось с помощью высокочувствительного метода атомно- абсорбционной спектроскопии. Было определено 9 ТМ: Pb, Cr, Co, Mn, Ni, Cd, Cu, Zn, Fe.

Как следует из представленных на рисунке 1 данных превышение ПДК выявлено у 4 из 9 исследованных ТМ. Причем превышение ПДК для Pb, Cd, Zn, Fe в поверхностных водах верхнего течения р.Иле (Панфиловский район, Алматинская область) по сравнению с поверхностными водами юго-восточной части Капшагайского водохранилища составляет соответственно 1.4, 1.5, 1.9 и 2.1 раза. Из результатов настоящего исследования видно, что превышение ПДК тяжелых металлов распределяется в следующем порядке: Fe > Zn > Pb > Cd как для поверхностных вод верхнего течения р.Иле, так и для юго-восточной части Капшагайского водохранилища, но в последнем в меньшей степени.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях, также, как и в поверхностных водах, превышало ПДК для Pb Cd, Zn, Fe. При этом превышение ПДК для этих металлов в донных отложениях верхнего течения р. Иле было в 1.5, 1.4, 1.9 и 1.5 раз по сравнению с уровнем ТМ в седиментах из юго-восточной части Капшагайского водохранилища.

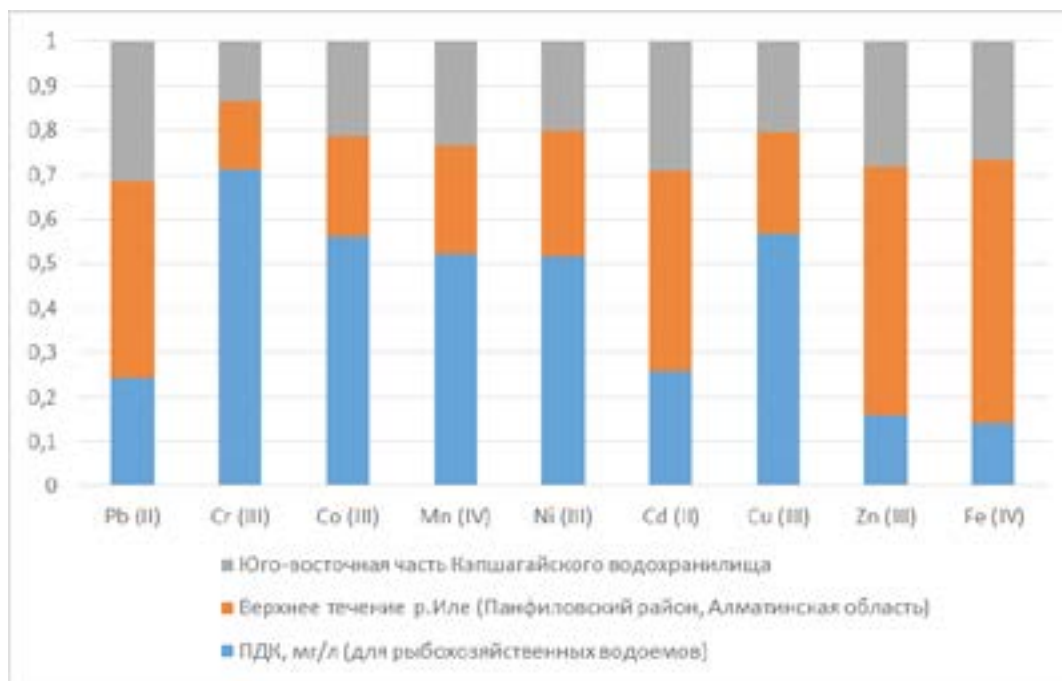


Рисунок 1 – Содержание ТМ в поверхностных водах реки Или (верхнее течение, Панфиловского района Алматинской области) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища, 2021-2022 гг., мг/л

Результаты этого исследования свидетельствуют о том, что тяжелые металлы содержатся в поверхностных водах и в донных отложениях

верхнего течения р. Или в большем количестве по сравнению с юго-восточной частью Капшагайского водохранилища.

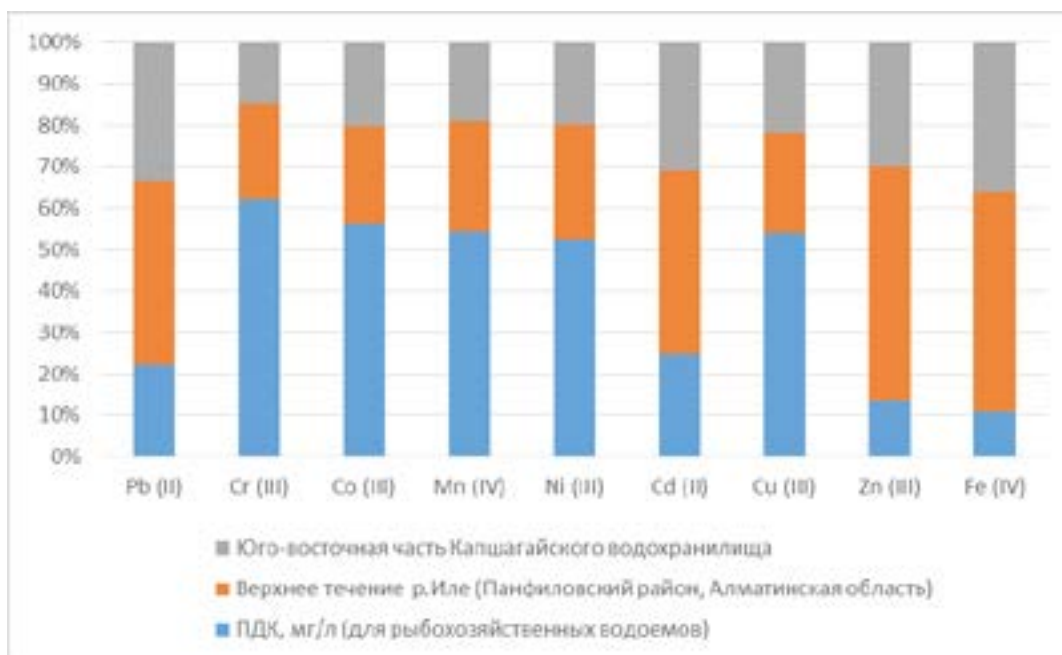


Рисунок 2 – Содержание ТМ в донных отложениях реки Или (верхнее течение, Панфиловского района Алматинской области) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища, 2021-2022 гг., мг/л

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб из реки Иле (верхнее течение, Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища

В органах и тканях рыб из реки Иле (верхнее течение) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища были определены содержание ТМ, превышающих ПДК в поверхностных водах и седиментах, то есть Pb, Cd, Zn, Fe. Результаты данного исследования приведены в таблице 1.

Тяжелые металлы накапливались во всех исследуемых органах: жабрах, печени, толстой кишке, почках у рыб как из р.Иле, так и из Капшагайского водохранилища. При этом, сравнительный анализ показал, что содержание Pb, Cd, Zn, Fe в органах и тканях белого амура из реки Иле (верхнее течение) превышает уровень у рыб из юго-восточной части Капшагайского водохранилища. Это также подтверждается наибольшим превышением ПДК практически в два раза для этих металлов во исследуемых органах у рыб из реки Иле (верхнее течение) (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание ТМ в органах и тканях белого амура (*Ctenopharyngodon idella*) из реки Иле (верхнее течение Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища, мкг/г.

Пункты исследования	Объект	Белый амур (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)			
	ТМ	Pb	Cd	Zn	Fe
	ПДК мкг/г [▲]	1,0	0,2	40,0	30,0
Верхнее течение р.Иле (Панфиловский район, Алматинская область)	жабры	1,80 ± 0,13*	0,43 ± 0,07*	117,20 ± 4,54*	112,60 ± 4,20*
	> ПДК	1,80	2,15	2,93	3,75
	печень	1,94 ± 0,16*	0,49 ± 0,07*	130,50 ± 4,30*	142,24 ± 5,42*
	> ПДК	1,94	2,45	3,26	4,74
	толстая кишка	1,98 ± 0,13*	0,36 ± 0,08*	124,30 ± 3,90*	130,44 ± 4,80*
	> ПДК	1,98	1,8	3,10	4,35
	почки	1,68 ± 0,10*	0,46 ± 0,06*	123,30 ± 5,20*	138,22 ± 5,40*
	> ПДК	1,68	2,30	3,08	4,61
Юго-восточная часть Капшагайского водохранилища	жабры	0,90 ± 0,08	0,28 ± 0,06	58,60 ± 1,90	56,94 ± 3,62
	> ПДК	0,90	1,40	1,46	1,89
	печень	0,97 ± 0,12	0,25 ± 0,09	65,25 ± 3,42	71,24 ± 3,80
	> ПДК	0,97	1,25	1,63	2,37
	толстая кишка	0,99 ± 0,16	0,18 ± 0,06	62,18 ± 2,24	65,40 ± 2,80
	> ПДК	0,99	0,90	1,55	2,18
	почки	0,86 ± 0,11	0,23 ± 0,06	61,60 ± 2,80	69,20 ± 3,92
	> ПДК	0,86	1,15	1,54	2,31

Примечание: [▲] ПДК в сырой рыбе; * P ≥ 0,05 по сравнению с показателями у рыб из Юго-восточной части Капшагайского водохранилища.

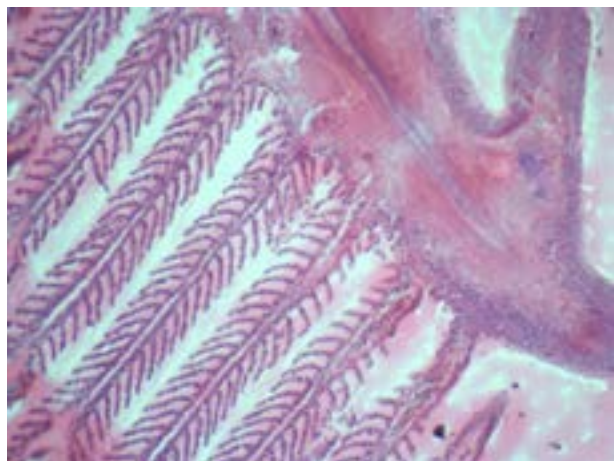
Исследование гистоструктуры органов белого амура из реки Иле (верхнее течение, Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища

В жабрах белого амура из реки Иле (верхнее течение) наблюдались такие гистопатологические изменения как гиперплазия, слияние пластинок, эпителиальный некроз. У основания пластинок в покрывающем их вторичном жабберном эпителии (ламеллы) наблюдались отёки (рисунок 3, А). Кроме того, в ряде ламелл

была отмечена деструкция сосудистого слоя, в виде кровоизлияний и полнокровия. Подобные изменения в жабрах были зарегистрированы у разных рыб из пресноводных водоемов, подвергшихся воздействию тяжелых металлов. [18 – 21]. Таким образом, эпителиальная выстилка пластинок рыб может реагировать на присутствующие в поверхностных водах и седиментах тяжелые металлы, создавая в тканях осморегуляторный дисбаланс [22-24]. Эти деструктивные процессы, по-видимому связаны, со значительным накоплением в жабрах Pb, Cd, Zn, Fe,

особенно у рыб из реки Иле (верхнее течение). У рыб из юго-восточной части Капшагайского водохранилища в жабрах подобные деструк-

тивные изменения первичного и вторичного жаберного эпителия не были обнаружены (рисунок 3, Б).



А



Б

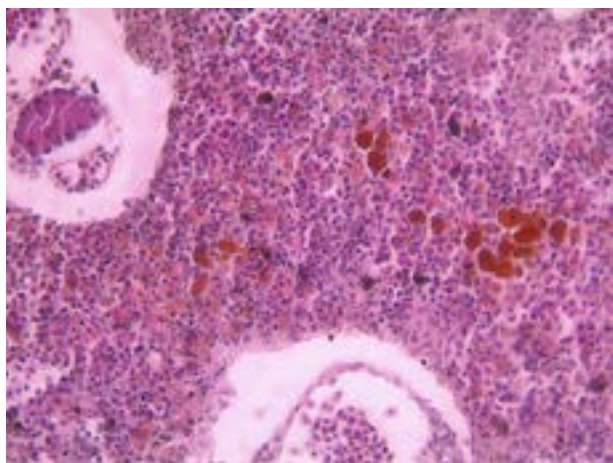
А – Гиперплазия, слияние пластинок, некроз и отек жаберного эпителия,
Б – Первичный и вторичный эпителий без изменений.

Рисунок 3 – Гистоструктура жабр белого амура: А- из реки Иле (верхнее течение),
Б – из юго-восточной части Капшагайского водохранилища. Окраска: гематоксилин-эозин. X 200.

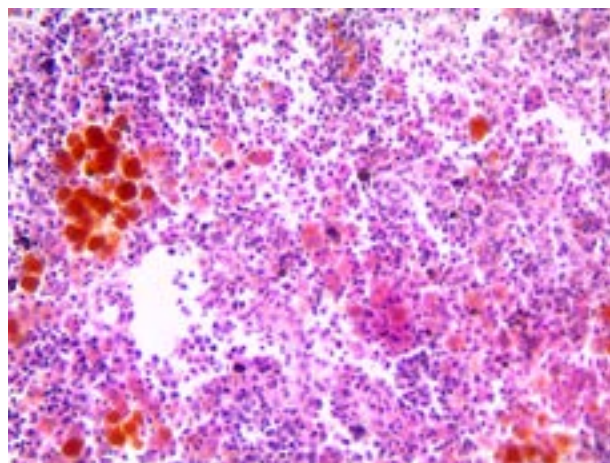
Одним из важнейших органов жизнедеятельности рыб, участвующем в процессах нормального пищеварения и детоксикации эндо- и экзогенных веществ, является печень. Результаты исследования гистоструктуры печени белого амура из реки Иле (верхнее течение) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища представлены на рисунке 4, А,Б. У белого амура из верхнего течения реки Иле наблюдаются значительные изменения в микроскопическом строении органа: клетки паренхимы печени изменили радиальное расположение и хаотично формировали структуру органа из-за резкого расширения пространств Диссе, синусоидов и некроза большинства гепатоцитов (рисунок 4, А). Эти участки выявлялись как светлые или «пустые». В паренхиме органа обнаруживались центры скопления и отдельные лежащие меланомacroфаги. Меланомacroфагальные центры – это скопления местных макрофагов, содержащие пигмент гемосидерин, из-за чего они выглядят буро-красными на фоне розово окрашенных гепатоцитов, Их многочисленность в печени рыб свидетельствуют о присутствии в водной среде токсикантов [25]. У рыб из юго-восточной части Капшагайского водохранилища каких-либо патологий, кроме периваскулярного отёка одного

из крупных кровеносных сосудов, обнаружено не было (рисунок 4, Б).

В стенке толстой кишки белого амура из реки Иле (верхнее течение) обнаруживалось расслоение тканей: мышечной, серозной, подслизистой и слизистой основы (рисунок 5,А). Как известно, структурно-функциональной единицей слизистой оболочки тонкой и толстой кишки является комплекс крипта-ворсинка. В толстом кишечнике крипты более развиты, чем в тонком кишечнике. Они располагаются плотнее, чем в тонкой кишке и имеют более широкий просвет, содержат камбиальные элементы эпителия. У белого амура их верхнего течения реки Иле наблюдается изменение соотношения крипт и ворсинок в результате утраты отдельных ворсинок. Кроме того, наблюдается многочисленные бокаловидные клетки, которыми, как известно, богата толстая кишка. Но в данном случае это может свидетельствовать также о функциональной нагрузке на орган, так как просвете органа видны окрашенные эозином непереваренные розовые растительные волокна. Белый амур, как известно, является исключительно травоядной рыбой и попадающие с пищей поллютанты могут концентрироваться данными волокнами, накапливаясь, вызывая токсический эффект.



А



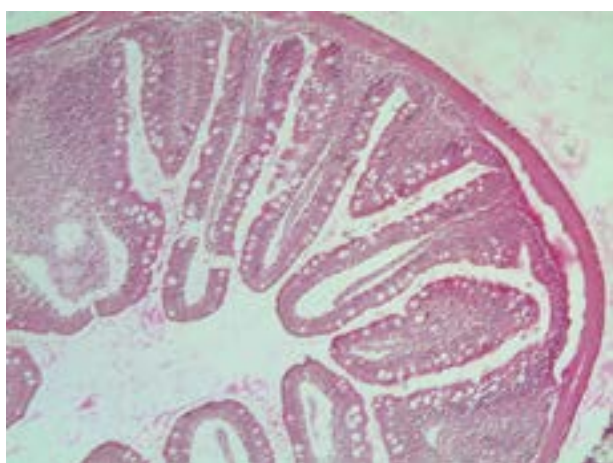
Б

А – Расширение пространств Диссе, синусоидов, дистрофия и некроз гепатоцитов, многочисленные меланомакрофагальные скопления; Б – Трубочатое строение паренхимы печени сохранено, внутрипеченочная экзокринная ткань поджелудочной железы, ацинус организован столбчатыми цилиндрическими клетками без каких-либо патологий, периваскулярный отёк крупного кровеносного сосуда.

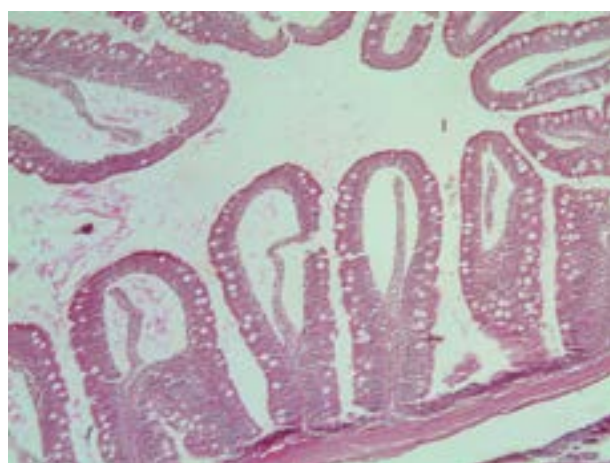
Рисунок 4 – Гистоструктура печени белого амура: А- из реки Иле (верхнее течение), Б – из юго-восточной части Капшагайского водохранилища. Окраска: гематоксилин-эозин. X 200.

В толстой кишке белого амура из юго-восточной части Капшагайского водохранилища обнаруживалось отслоение мышечного слоя и серозной оболочки не повсеместно как у рыб из верхнего течения реки Иле, а только в отдельных участках (рисунок 5,Б). Если у рыб из верхнего течения реки Иле патологические процессы охватывали весь орган, то у рыб из

юго-восточной части Капшагайского водохранилища – отдельные кишечные ворсинки. Пролиферация камбиальных элементов на дне крипты активная, видны растущие ворсинки, что свидетельствует о высоких регенераторных возможностях органа. Бокаловидные клетки равномерно распространены по кишечным ворсинкам.



А



Б

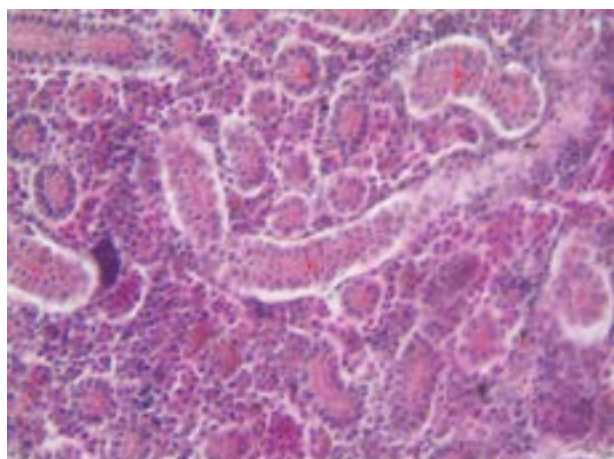
А – Расслоение тканей стенки толстой кишки: мышечной, серозной, подслизистой и слизистой основы. Многочисленные бокаловидные клетки и растительные волокна в просвете органа.

Б – Отслоение мышечного слоя и серозной оболочки на отдельном участке и некроз энтероцита на одной кишечной ворсине.

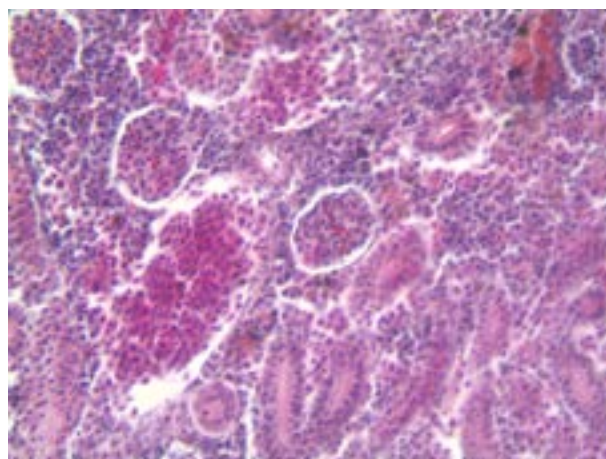
Рисунок 5 – Гистоструктура толстой кишки белого амура: А – из реки Иле (верхнее течение), Б – из юго-восточной части Капшагайского водохранилища. Окраска: гематоксилин-эозин. X 200.

Почки, являясь органом выведения продуктов метаболизма и поступающих в организм органических и неорганических соединений, становятся мишенью для них. Исследование гистоструктуры почек белого амура (*Stenopharyngodon idella*) из верхнего течения реки Иле и юго-восточной части Капшагайского водохранилища представлены на рисунках 6, А,Б. У белого амура из верхнего течения реки Иле наблюдались изменения в корковом веществе почек: неравномерное распределение сосудистых клубочков и разрушение в виде сморщивания и/или синехий (расхождения капилляров), увеличение боуменова пространства. Деструктивные процессы затрагивали проксимальные и дистальные почечные канальцы в виде дистрофических и некробиотических изменений эпителиоцитов (рисунок 6, А). Изменения в системе кровообращения заключались в полнокровии

сосудов и кровоизлияниях. В паренхиме органа обнаруживались воспалительные инфильтраты из лейкоцитов, лимфоцитов, гистиоцитов. У некоторых особей наблюдался отёк паренхимы органа в виде расширенных интерстициальных пространств между почечными канальцами. У рыб из юго-восточной части Капшагайского водохранилища гистоструктура почек по большей части сохранена (рисунок 6, Б). Микроскопическое строение сосудистых клубочков и почечных канальцев в пределах нормы. Почечные канальцы прилежат друг к другу. Эпителиоциты проксимальных канальцев имеют характерную высокую призматическую форму, а дистальных – низкую. Цитоплазма эпителиальных клеток канальцев гомогенно окрашена в розовый цвет эозином, а ядра – гематоксилином в синий цвет. Ядра располагаются ближе к базальной мембране.



А



Б

А – Разрушение сосудистых клубочков в виде сморщивания и/или синехий (расхождения капилляров), увеличение боуменова пространства. Дистрофические и некробиотические изменения эпителиоцитов проксимальных и дистальных почечных канальцев. Полнокровие сосудов, кровоизлияния.

Воспалительные инфильтраты из лейкоцитов, лимфоцитов, гистиоцитов;

Б – Микроскопическое строение сосудистых клубочков и почечных канальцев в пределах нормы.

Рисунок 6 – Гистоструктура почек белого амура: А – из реки Иле (верхнее течение),

Б – из юго-восточной части Капшагайского водохранилища. Окраска: гематоксилин-эозин. X 200.

Таким образом, сравнительное исследование микроскопического строения органов белого амура из реки Иле (верхнее течение) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища выявило гистопатологические изменения в разных органах белого амура, причем у рыб, обитающих в верхней части реки Иле, в большей степени по сравнению с особями из Капшагайского водохранилища, что, по-видимому связано

с наибольшим накоплением у них Pb, Cd, Zn, Fe (Таблица 1).

Для доказательства визуальных наблюдений были предприняты количественные морфометрические исследования, результаты, которого приведены в Таблице 2. Видно, что объем отёчной ткани жаберного эпителия и кровоизлияний у белого амура из верхнего течения реки Иле в 4,9 и 2,2 раза превышает, а

длина ламелл, наоборот, в 2,1 раза ниже таких же показателей у рыб из юго-восточной части Капшагайского водохранилища, что соответствует гистопатологическим изменениям в данном органе (рисунок 3, А, Б). В толстом кишечнике у белого амура из верхнего течения реки Иле высота ворсинок в 1,8 раза снижалась по сравнению с рыбами из юго-восточной части Капшагайского водохранилища за счет сдувания эпителия на верхушках, а глубина крипт и толщина стенки в 2,8 и 1,7 раза увеличивалась, соответственно. В печени у белого амура из верхнего течения реки Иле по сравнению с рыбами из юго-восточной части Капшагай-

ского водохранилища число интактных (неповрежденных) гепатоцитов в 1,6 раза снижалось, а количество дистрофически измененных и некротизированных клеток резко возрастало. При этом, многократно увеличивалось количество меланомакрофагов и воспалительных инфильтратов (Таблица 2, Рисунок 4,А,Б). В почках у белого амура из верхнего течения реки Иле по сравнению с рыбами из юго-восточной части Капшагайского водохранилища диаметр сосудистых клубочков уменьшалось в 1, 2 раза, видимо за счет сморщивания, а диаметр почечных канальцев во столько же раз увеличивалось из-за отека.

Таблица 2 – Морфометрические показатели в органах белого амура (*Ctenopharyngodon idella*) из реки Иле (верхнее течение Панфиловский район, Алматинская область) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища

Органы	Показатели	Река Иле (верхнее течение, Панфиловский район, Алматинская область)	Юго-восточная часть Капшагайского водохранилища
Жабры	Отек	8,1 ± 7,1* мм ³	1,65 ± 0,59 мм ³
	Кровоизлияние	7,75 ± 1,74* мм ³	3,46 ± 1,11 мм ³
	Длина ламелл	73,37 ± 33,34 мкм	157,17 ± 26,39* мкм
Толстая кишка	Высота ворсинок	1143,67 ± 298,317* мкм	2021,29 ± 335,873 мкм
	Глубина крипта	456,013 ± 133,053* мкм	163,897 ± 84,571 мкм
	Толщина стенки	164,507 ± 43,804* мкм	94,976 ± 19,221 мкм
Печень	Количество интактных гепатоцитов	12598 ± 96**	19598 ± 78
	Количество дистрофических гепатоцитов	790 ± 52***	14 ± 5
	Количество некротизированных гепатоцитов	264 ± 38	-
	Количество меланомакрофагов	184 ± 40**	68 ± 15
	Воспалительные инфильтраты	34 ± 9	-
Почки	Диаметр дистальных канальцев	170,178 ± 25,102 мкм	175,81 ± 26,736 мкм
	Диаметр проксимальных канальцев	201,314 ± 21,943* мкм	167,64 ± 18,414 мкм
	Диаметр сосудистых клубочков	276,861 ± 26,386* мкм	325,987 ± 32,846 мкм
	Длина боуменова пространства	47,377 ± 7,76* мкм	26,462 ± 8,13 мкм

Примечание: измерение проводилось на 5 препаратах от 5 особей в 10 случайных полях зрения при х400.
* P≤0,05; ** P≤0,01, *** P≤0,001 по сравнению с показателями у рыб из нижней части реки Иле

Заключение

Исследование содержания тяжелых металлов: Pb, Cr, Co, Mn, Ni, Cd, Cu, Zn, Fe в поверхностных водах и седиментах из разных участков реки Иле (верхнее течение) и юго-восточной части Капшагайского водохранилища выявило превышение ПДК для четырех из них: Fe > Zn >

Pb > Cd. Эти металлы обнаруживались в разных органах белого амура (*Ctenopharyngodon idella*), отловленных в исследуемых участках, и вызывали гистопатологические изменения, соответствующие уровню их накопления. Установлено, что наибольшему токсикологическому воздействию были подвержены гидробионты, в частности, рыбы в верхнем течении реки Иле. Воды и

седименты юго-восточной части Капшагайского водохранилища, хоть содержат выявленные ТМ, но в значительно меньшей степени по сравнению с верхним течением реки Иле. Морфо-функциональное состояние белого амура из юго-восточной части Капшагайского водохранилища также свидетельствует о более благоприятных условиях водной среды для рыб.

Как известно, патофизиологическим механизмом действия тяжелых металлов могут быть окислительно-восстановительные реакции с образованием свободных радикалов и,

следовательно, способные вызывать биохимические и морфологические изменения [26-27]. Характер вызванных морфо-функциональных особенностей в организме рыб можно широко использовать для оценки состояния водных экосистем. Таким образом, они могут служить биомаркерами загрязнения окружающей среды [28]. В ряде токсикологических исследований было показано, что изменения в разных органах рыб являются наиболее распространенными реакциями на загрязнители окружающей среды [29-30].

Литература

1. Информационный бюллетень о трансграничном переносе токсичных компонентов в объектах окружающей среды за 1 полугодие 2021 года, Нур-Султан 2021, министерство экологии, геологии и природных ресурсов республики Казахстан, республиканское государственное предприятие «Казгидромет»
2. Burlibaev M.Zh., Dostaj Zh.D., Mirhashimov I., Nikolaenko A.Ju. Sovremennoe sostojanie hozjajstvennoj dejatel'nosti v Ile-Balhashskom bassejne. Integririvannoe upravlenie vodnymi resursami v Ile-Balkashskom bassejne. UNDP. – Almaty, 2011. – P. 3-16.
3. РГП “Казгидромет” Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК. Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ecology/informacionnye-byulleteni-o-sostoyanii-okruzhayushey-sredy-respubliki-kazahstan>.
4. Paul K.S. Lam. Use of biomarkers in environmental monitoring. // *Ocean & Coastal Management*. – 2009. - №52. – P.348-354.
5. 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.
6. Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes (Качество воды. Отбор проб. Руководство по составлению программ отбора проб) // Международный стандарт. ISO 5667-1:1982.
7. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб // Межгосударственный стандарт. - 2012. - 25с.
8. Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis // Межгосударственный стандарт. - 2003. - 25с.
9. ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.
10. ГОСТ 12536–79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрическо (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2008. – 17с.
11. Будников Г.Н. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. - 1998. - № 5. - С.23-29.
12. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной воды: практическое руководство. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 678 с.
13. СанПиН 42-128-4433-87 “Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве” (утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР от 30 октября 1987 г. N 4433-87).
14. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. - М.: Изд. ВНИИРО. - 1999. - 304с.
15. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. – Москва: Мир, 1976. – 235 с.
16. Золотов Ю.А., Кузьмин И.М. Концентрирование микроэлементов. - М.: Химия, 1982. 186 с.
17. Викторов И.В., Прошин С.С. Применение изопропилового спирта в гистологических методах: обезвоживание и заливка ткани в парафин, обработка парафиновых срезов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2003. – №7. – С.119–120.
18. Alazemi, B.M.; Lewis, J.W. & Andrews, E.B. 1996. Gill damage in the freshwater fish *Gnathnonemus petersii* (Family: Mormyridae) exposed to selected pollutants: An ultrastructure study. *Environmental Technology* 17: 225-238.
19. Arellano, J.M.; Storch, V. & Sarasquete, C. 1999. Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the Senegales sole, *Solea senegalensis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 44: 62-72.
20. Askari Hesni, M.; Dadolahi-Sohrab, A.; Savari, A. & Mortazavi, M.S. 2011. Gill Histopathological Changes in Milkfish (*Chanos chanos*) Exposed to Acute Toxicity of Diesel Oil. *World Applied Sciences Journal* 14 (10): 1487-1492.
21. Besirovic H, Alic A, Prasovic S, et al. Histopathological effects of chronic exposure to cadmium and zinc on kid-neys and gills of brown trout (*Salmo trutta m. fario*). *Turk J Fish Aquat Sci*. 2010;10:169–185.

22. Fatima M, Usmani N. Histopathology and bioaccumulation of heavy metals (Cr, Ni and Pb) in fish (*Channa stratus* and *Heteropneustes fossilis*) tissue: A study for toxicity and ecological impacts. *Pak J Biol Sci* 2013;16:412–420.
23. Wani A, Sikdar-Bar M, Borana K, et al. Histopathological alterations induced in gill epithelium of African catfish, *Clarias gariepinus*, exposed to copper sulphate. *Asian J Exp Biol Sci*. 2011;2:278–282.
24. Azadeh Atabati, Alireza Keykhosravi, Majid Askari-Hesni, Jafar Vatandoost, Mina Motamedi Effects of Copper Sulfate on gill histopathology of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) //Iran. *J. Ichthyol.* (March 2015), 2(1): 35–42.
25. C. F. Sales, R. F. Silva, M. G. C. Amaral, F. F. T. Domingos, R. I. M. A. Ribeiro, R. G. Thomé & H. B. Santos. Comparative histology in the liver and spleen of three species of freshwater teleost//Neotropical Ichthyology, 15(1): e160041, 2017.
26. Farombi E, Adelowo O, Ajimoko Y. Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicator of environmental pollution in African catfish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *Int J Environ Res Public Health*. 2007;4:158–165.
27. Javed M, Ahmad M, Usmani N, et al. Multiple biomarker responses (serum biochemistry, oxidative stress, genotoxicity and histopathology) in *Channa punctatus* exposed to heavy metal loaded waste water. *Sci Rep Nat*.2017;7:1675.
28. Javed M, Usmani N. Accumulation of heavy metals and human health risk assessment via the consumption of freshwater fish *Mastacembelus armatus* inhabiting, thermal power plant effluent loaded canal. *SpringerPlus*. 2016;5:776.
29. Fatima M, Usmani N, Hossain MM. Heavy metal in aquatic ecosystem emphasizing its effect on tissue bioaccumulation and histopathology: a review. *J Environ Sci Technol*. 2014;7:1–15.
30. Mehana, El-Sayed. (2014). Impact of water pollution with heavy metals on fish health: Overview and updates. *Global Veterinaria*. 12. 219-231.

References

1. Информационный бюллетень о трансграничном переносе токсичных компонентов в объектах окружающей среды за 1 полугодие 2021 года, Nur-Sultan 2021, министерство экологии, геологии и природных ресурсов республики Казахстан, республиканское государственное предприятие «Казгидромет»
2. Burlibaev M.Zh., Dostaj Zh.D., Mirhashimov I., Nikolaenko A.Ju. Современное состояние хозяйственной деятельности в Иле-Балхашском бассейне. Интегрированное управление водными ресурсами в Иле-Балхашском бассейне. UNDP. – Алматы, 2011. – P. 3-16.
3. RGP “Kazgidromet” Ministerstva ekologii, geologii i prirodnnykh resursov RK. Inforatsionnyye byulleteni o sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Kazakhstan [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ecology/informacionnye-byulleteni-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-respubliki-kazahstan>.
4. Paul K.S. Lam. Use of biomarkers in environmental monitoring. // *Ocean & Coastal Management*. – 2009. - №52. – P.348-354.
5. 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.
6. Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes (Kachestvo vody. Otkor prob. Rukovodstvo po sostavleniyu programm otbora prob) // *Mezhdunarodnyy standart. ISO 5667-1:1982*.
7. GOST 31861-2012. Voda. Obshchiye trebovaniya k otboru prob // *Mezhdunarodnyy standart*. - 2012. - 25c.
8. Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis // *Mezhdunarodnyy standart*. - 2003. - 25c.
9. GOST 17.1.5.01–80. Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchiye trebovaniya k otboru prob donnykh otlozheniy vodnykh ob'ektov dlya analiza na zagryaznennost'. – M.: IPK Izd-vo standartov, 2002. – 7 c.
10. GOST 12536–79. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometrichesko (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava. – M.: Standartinform, 2008. – 17c.
11. Budnikov G.N. Tyazhelye metally v ekologicheskom monitoringe vodnykh sistem // *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*. - 1998. - № 5. - C.23-29.
12. Drugov YU. S., Rodin A. A. Analiz zagryaznennoy vody: prakticheskoye rukovodstvo. - M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2012. — 678 c.
13. SanPiN 42-128-4433-87 “Sanitarnyye normy dopustimyykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v pochve” (utv. zamestitelem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha SSSR ot 30 oktyabrya 1987 г. N 4433-87).
14. Perechen' rybokhozyaystvennykh normativov: predel'no dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i oriyentirovochno bezopasnykh urovney vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob'ektov, imeyushchikh rybokhozyaystvennoye znacheniye. - M.: Izd. VNIRO. - 1999. - 304c.
15. Prays V. Analiticheskaya atomno-absorbtsionnaya spektroskopiya. – Moskva: Mir, 1976. – 235 c.
16. Zolotov YU.A., Kuz'min I.M. Kontsentrirvaniye mikroelementov. - M.: Khimiya, 1982. 186 c.
17. Viktorov I.V., Proshin S.S. Primenenie izopropilovogo spirta v gistologicheskikh metodakh: obezvozhivanie i zalivka tkani v parafin, obrabotka parafinovykh srezov // *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. – 2003. – №7. – C.119–120.
18. Alazemi, B.M.; Lewis, J.W. & Andrews, E.B. 1996. Gill damage in the freshwater fish *Gnathnonemus petersii* (Family: Mormyridae) exposed to selected pollutants: An ultrastructure study. *Environmental Technology* 17: 225-238.
19. Arellano, J.M.; Storch, V. & Sarasquete, C. 1999. Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the Senegales sole, *Solea senegalensis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 44: 62-72.
20. Askari Hesni, M.; Dadolahi-Sohrab, A.; Savari, A. & Mortazavi, M.S. 2011. Gill Histopathological Changes in Milkfish (*Chanos chanos*) Exposed to Acute Toxicity of Diesel Oil. *World Applied Sciences Journal* 14 (10): 1487-1492.

21. Besirovic H, Alic A, Prasovic S, et al. Histopathological effects of chronic exposure to cadmium and zinc on kid-neys and gills of brown trout (*Salmo trutta m. fario*). *Turk J Fish Aquat Sci.* 2010;10:169–185.
22. Fatima M, Usmani N. Histopathology and bioaccumulation of heavy metals (Cr, Ni and Pb) in fish (*Channa stratus* and *Heteropneustes fossilis*) tissue: A study for toxicity and ecological impacts. *Pak J Biol Sci* 2013;16:412–420.
23. Wani A, Sikdar-Bar M, Borana K, et al. Histopathological alterations induced in gill epithelium of African catfish, *Clarias gariepinus*, exposed to copper sulphate. *Asian J Exp Biol Sci.* 2011;2:278–282.
24. Azadeh Atabati, Alireza Keykhosravi, Majid Askari-Hesni, Jafar Vatandoost, Mina Motamedi Effects of Copper Sulfate on gill histopathology of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) //Iran. *J. Ichthyol.* (March 2015), 2(1): 35–42.
25. C. F. Sales, R. F. Silva, M. G. C. Amaral, F. F. T. Domingos, R. I. M. A. Ribeiro, R. G. Thomé & H. B. Santos. Comparative histology in the liver and spleen of three species of freshwater teleost//*Neotropical Ichthyology*, 15(1): e160041, 2017.
26. Farombi E, Adelowo O, Ajimoko Y. Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicator of environmental pollution in African catfish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *Int J Environ Res Public Health.* 2007;4:158–165.
27. Javed M, Ahmad M, Usmani N, et al. Multiple biomarker responses (serum biochemistry, oxidative stress, genotoxicity and histopathology) in *Channa punctatus* exposed to heavy metal loaded waste water. *Sci Rep Nat.*2017;7:1675.
28. Javed M, Usmani N. Accumulation of heavy metals and human health risk assessment via the consumption of freshwater fish *Mastacembelus armatus* inhabiting, thermal power plant effluent loaded canal. *SpringerPlus.* 2016;5:776.
29. Fatima M, Usmani N, Hossain MM. Heavy metal in aquatic ecosystem emphasizing its effect on tissue bioaccumulation and histopathology: a review. *J Environ Sci Technol.* 2014;7:1–15.
30. Mehana, El-Sayed. (2014). Impact of water pollution with heavy metals on fish health: Overview and updates. *Global Veterinaria.* 12. 219-231.