

**НГО ТХЕ КЫОНГ**

**СОДЕРЖАНИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ  
ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ РАЙОНОВ ВЬЕТНАМА  
(на примере р. Шерепок, провинция Даклак)**

03.02.08 – экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Москва - 2018

Работа выполнена на кафедре судебной экологии с курсом экологии человека экологического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН), г. Москва

**Научный руководитель:**

**Черных Наталья Анатольевна,**  
доктор биологических наук, профессор,  
заведующая кафедрой судебной экологии с курсом  
экологии человека экологического факультета РУДН

**Официальные оппоненты:**

**Левина Сима Гершивна,**  
доктор биологических наук, кандидат химических наук,  
профессор кафедры химии, экологии и методики обучения химии  
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный  
гуманитарно-педагогический университет»,  
заслуженный работник ВПО РФ;

**Тобратов Сергей Анатольевич,**  
кандидат биологических наук,  
доцент, руководитель лаборатории геохимии  
ландшафтов при кафедре физической географии  
и методики преподавания географии ФГБОУ ВО  
«Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина»

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Московский государственный  
университет имени М.В. Ломоносова»

Защита состоится « 13 » декабря 2018 г. в 14 часов 00 минут на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.203.38 при Российском университете дружбы народов по адресу: 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8/5, экологический факультет.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6 и на сайте [dissovet.rudn.ru](http://dissovet.rudn.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» октября 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Е.А. Ванисова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы исследования.* В настоящее время основными векторами развития Вьетнама определены общая индустриализация страны и модернизация промышленного и сельскохозяйственного производства, в связи с чем в последние годы бурными темпами расширяются площади промышленно развитых зон. Вследствие этого значительная часть территории страны подвергается загрязнению различными химическими элементами, приоритетными из которых являются тяжелые металлы (ТМ) и мышьяк. После попадания в реки или ручьи, загрязняющие вещества активно перемещаются вниз по течению, распространяясь таким образом на значительном отдалении от места сброса.

Реки Вьетнама испытывают большую техногенную нагрузку, являясь приемниками прямых и косвенных потоков отходов от промышленной, коммунальной, сельскохозяйственной и иной деятельности человека. Большая часть таких загрязняющих потоков в настоящее время либо вообще не подвергается обезвреживанию, либо обрабатывается очень примитивным способом, и только перед сбросом в реку. При этом загрязнение водных объектов из-за прямого сброса промышленных стоков, которые содержат ТМ и мышьяк, является серьезной проблемой в большинстве развивающихся стран (Bhargava et al., 2009; Yi et al., 2011; Giri, Singh, 2014; Cengiz et al., 2017 и др.).

На данный момент во Вьетнаме проведено множество исследований состояния химического загрязнения рек, протекающих через густонаселенные районы или промышленные зоны (Nguyen Thi Lan Huong et al., 2008; Vũ Thị Hồng Nghĩa, 2011; Vũ Thị Phương Thảo, 2014 и др.). Однако большинство проведенных исследований ограничивается только описанием текущего состояния рек, мало углубляясь в процессы распространения и распределения загрязняющих веществ в компонентах речного бассейна. Научных знаний и практических решений по данной проблеме во Вьетнаме в настоящее время явно недостаточно.

Река Шерепок играет очень важную роль в обеспечении хозяйственной деятельности людей, населяющих территории, по которым она протекает. Она обеспечивает водой системы орошения сельскохозяйственных земель, на которых выращиваются рис (26457 га), кофе (46163 га), фруктовые растения (1095 га) и другие культуры (140 га). На нужды промышленных предприятий ежегодно подается около  $14,4 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> воды, на нужды скотоводства -  $36 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>.

С ростом населения, развитием сельского хозяйства и промышленности вдоль обоих берегов реки Шерепок, в особенности после запуска двух крупных

промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг, качество воды в реке резко ухудшилось.

При этом комплексного изучения экологического состояния реки Шерепок и определения качества воды ранее не проводилось. В связи с этим изучение динамики содержания тяжелых металлов и мышьяка в абиотических и биотических компонентах реки является актуальной научной и практической задачей.

**Цель исследования** - комплексная оценка уровней содержания и закономерностей распределения тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Cd, Fe) и мышьяка в биотических и абиотических компонентах реки Шерепок (провинция Даклак, Вьентам).

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих **задач**:

- Оценить степень химического загрязнения реки Шерепок в районах с разным уровнем промышленного развития;
- Изучить уровни содержания и сезонную динамику тяжелых металлов и мышьяка в воде и донных отложениях р.Шерепок в зависимости от степени техногенной нагрузки;
- Определить степень загрязнения прибрежной водной растительности р.Шерепок – водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) и тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) - тяжелыми металлами и мышьяком;
- Выявить различия в накоплении тяжелых металлов и мышьяка различными видами гидробионтов - сазаном (*Cyprinus carpio*), тилапией нильской (*Oreochromis niloticus*), хемибагрусом (*Hemibagrus wyckioides*), пресноводной улиткой (*Pomacea canaliculata*) и пресноводным крабом (*Somanniathelphusa sinensis*);
- Установить закономерности распределения тяжелых металлов и мышьяка по органам различных видов рыб - сазана (*Cyprinus carpio*), тилапии нильской (*Oreochromis niloticus*), хемибагруса (*Hemibagrus wyckioides*);
- Определить характер распределения тяжелых металлов и мышьяка в системах: «вода-донные отложения-водная прибрежная растительность» и «вода-донные отложения-гидробионты».

**Научная новизна.** Впервые проведена комплексная оценка экологического состояния р. Шерепок на основе данных гидрохимических и гидробиологических исследований. Изучены сезонные закономерности распределения ряда тяжелых металлов и мышьяка в системе: «вода – донные отложения – прибрежная водная растительность – гидробионты». Выявлены уровни накопления ТМ и Аs прибрежной водной растительностью и гидробионтами в зависимости от степени

техногенной нагрузки и установлены объекты биомониторинга для оценки состояния р. Шерепок.

**Теоретическое значение.** Данные, изложенные в диссертации, имеют существенное значение для развития экологии водных объектов тропических и субтропических регионов в условиях химического загрязнения и могут служить основой для разработки стратегии природоохранных мероприятий, проводимых на территории Вьетнама.

**Практическая значимость.** Результаты диссертационной работы могут быть использованы:

- для развития и совершенствования системы мониторинга экологического состояния речных экосистем на федеральном и региональном уровнях;
- при создании базы гидробиологических данных рек Вьетнама;
- для прогнозирования дальнейших изменений в водных экосистемах при сохранении существующей антропогенной нагрузки;
- для информационной поддержки процесса принятия решений, связанных с охраной окружающей среды в трансграничных водных объектах.

Результаты исследований по содержанию тяжелых металлов и мышьяка в системе: «Вода – донные отложения – прибрежные водные растения – гидробионты» могут быть использованы в качестве региональных критериев при оценке состояния водотоков.

Полученные автором закономерности распределения ТМ и мышьяка в речных экосистемах включены в программу курса: «Химия окружающей среды» при подготовке бакалавров по направлению «Экология и природопользование».

***Защищаемые положения:***

1. Проведена оценка сезонной динамики содержания тяжелых металлов и мышьяка в компонентах экосистем реки Шерепок, протекающей по территории с различной степенью загрязнения. В речной воде, донных отложениях и водной прибрежной растительности вблизи промышленно развитых зон Хоа Фу и Там Тханг выявлена устойчивая тенденция к повышению содержания элементов. Установлены закономерности изменения концентрации элементов в воде и донных отложениях в зависимости от сезона года (в сезон дождей и сухой сезон) – наличие значительных колебаний концентрации Pb, Cu, Zn, Cd, Fe, As по сезонам года в воде и отсутствие сезонных изменений содержания данных элементов (за исключением кадмия) в донных отложениях.

2. Показано, что содержание тяжелых металлов и мышьяка в водных прибрежных растениях широко варьирует в зависимости от уровня загрязнения территории протекания реки. Максимальные количества Cu, Zn и Pb в органах растений зафиксированы на участке в пределах промышленных зон. При этом выявлено, что содержание Pb, Cu, Zn, Cd, Fe As в корнях растений - водяном гиацинте (*Eichhornia crassipes*) и тростнике обыкновенном (*Phragmites australis*) - выше, чем в стеблях, вне зависимости от степени загрязнения.

3. Выявлено, что содержание исследуемых тяжелых металлов и мышьяка в гидробионтах реки Шерепок (видах рыб - сазане *Cyprinus carpio*, тилапии нильской *Oreochromis niloticus* и хемибагруссе *Hemibagrus wyckioides*; пресноводной улитке *Pomacea canaliculata* и пресноводном крабе *Somanniathelphusa sinensis*) на участках, подверженных влиянию промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг, выше по сравнению с участками, расположенными в отдалении от данных промышленных районов. При этом содержание Fe, Cu, Zn, Cd, Pb и As в тканях всех изученных животных во всех зонах исследования реки варьирует в зависимости от сезона года, но единой закономерности сезонных колебаний содержания элементов в различных частях тела водных животных не выявлено.

4. Установлено, что в органах разных видов рыб (сазана *Cyprinus carpio*, тилапии нильской *Oreochromis niloticus*, хемибагрусса *Hemibagrus wyckioides*), выловленных в границах промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг, содержание большинства изучаемых элементов в среднем в 2-8 раз выше по сравнению с другими исследуемыми районами протекания реки. Высокие уровни накопления тяжелых металлов и мышьяка отмечены в печени, жабрах и скелете рыб, низкие - в мышцах.

**Личный вклад автора.** Автор лично участвовал в проведении исследований, выполнял все работы по сбору первичного материала, обработке и анализу данных. Написание текста диссертации, формулирование основных теоретических положений и выводов осуществлено по плану, согласованному с научным руководителем. Доля личного участия автора в совместных публикациях пропорциональна числу авторов.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследования представлены на Международной научной конференции научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета (60-НПР) 2016 г., Международной научной конференции научно-педагогических работников

Астраханского государственного технического университета (61-НПР) 2017г., Международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество», г. Тамбов (28 апреля 2017 г.), Всероссийской конференции АГТУ (сентябрь 2017 г.), I Всероссийском экологическом форуме им. проф. Б.С. Кубанцева, г. Волгоград (19-21 сентября 2018 г.), XIX-ой Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы экологии и природопользования", г. Москва, РУДН (26-28 сентября 2018 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 4 в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ (1 в журнале, реферируемом в международной базе Scopus).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов практических рекомендаций и списка литературы. Список литературы включает 337 источника, в том числе 295 – на иностранных языках. Работа изложена на 199 страницах и включает 32 таблицы и 32 рисунка (в том числе карту-схему) и 7 фотографий.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе «Обзор литературы»** рассмотрены основные источники, масштабы и темпы загрязнения водных объектов в различных регионах мира. Быстрая урбанизация и индустриализация территорий, расположенных в бассейнах рек, приводят к нарушению равновесного экологического состояния речных экосистем и способствуют их постепенной деградации (Горюнова, 2006; Данилов-Данильян, 2009; Salati, 2010; Taghinia Hejabi et al., 2010; Giri Singh, 2014; Веницианов и др., 2015).

В водных системах растительный и животный мир – неотъемлемая и важная часть, обязательные объекты для изучения при оценке воздействия на природную среду загрязняющих веществ. Кроме того, флора и фауна - важное звено в системе, оказывающее непосредственное влияние на здоровье и качество жизни человека, так как часто являются основным источником питания. В связи с этим многие виды водной прибрежной растительности и гидробионтов используют в качестве индикаторов состояния окружающей среды.

При оценке загрязнения рек нельзя не учитывать загрязнение металлами донных отложений, которые являются хорошим показателем для такого рода оценки, так как отражают состояние загрязнения водного объекта в целом и мало подвержены влиянию внезапных и случайных воздействий. В гидрологическом цикле только 1 % примесей растворён в воде, а остальные 99 % сохраняются в

отложениях и проявляются со временем, являясь вторичным источником загрязняющих веществ в водной среде (Paramasivam et al., 2015; Nazneen и Patel, 2016 и др.). Донные отложения можно назвать своеобразной «ловушкой» для тяжёлых металлов, потому что в них металлы способны находиться долгое время и накапливаться. Многие исследования показывают, что содержание ТМ в донных отложениях намного, иногда в тысячи раз выше, чем в речной воде (Egel et al., 1991; Jain et al., 2004; Karadede-Akin et al., 2007; Wang et al., 2010).

Однако распространение и распределение ТМ по компонентам речной экосистемы (речная вода, отложения, животные, растения) по-прежнему до конца не изучены. В связи с этим необходимы дополнительные исследования по данным вопросам.

**Во второй главе «Объекты и методы исследования»** дана характеристика объектов исследования и приводится описание используемых в данной работе методик.

Река Шерепок расположена на западе горного хребта Чыонгшон на Центральном плато Вьетнама. Это одна из крупных речных систем, играющая важную роль в социально-экономическом развитии региона. Как и реки Секонг и Сесан, река Шерепок является притоком реки Меконг, берущим начало от Центрального плато, протекающим по территории Камбоджи и впадающим в реку Меконг в Стынгтраенг. Бассейн реки Шерепок имеет общую площадь 18230 км<sup>2</sup>.

Исследуемый участок реки пролегает через населённую местность - город Буонматхуот, уезд Буон Дон и частично уезд Кронг Ана. Численность населения на исследуемом участке реки на данный момент оценивается приблизительно в 1,2 млн человек. На территории уездов Кронг Ана и Буон Дон в основном расположены сельскохозяйственные угодья для выращивания кофе, перца, риса и цветов. На территории города Буонматхуот сосредоточено множество производственных, торговых и обслуживающих предприятий. Здесь расположены промышленные зоны, отдельные перерабатывающие заводы, клиники, кафе, животноводческие базы, бойни домашнего скота и птицы. Сточные воды из этих районов по протокам и каналам сливаются в реку Шерепок.

В настоящее время в реке Шерепок обитает 34 вида рыб, обладающих высокой экономической ценностью, из них самые распространенные: пятнистый змееголов, мадагаскарский речной угорь, сазан, хемибагрус, окунь, тилапия и др. Кроме того, река является местом обитания различных видов креветок, улиток, крабов, и др.



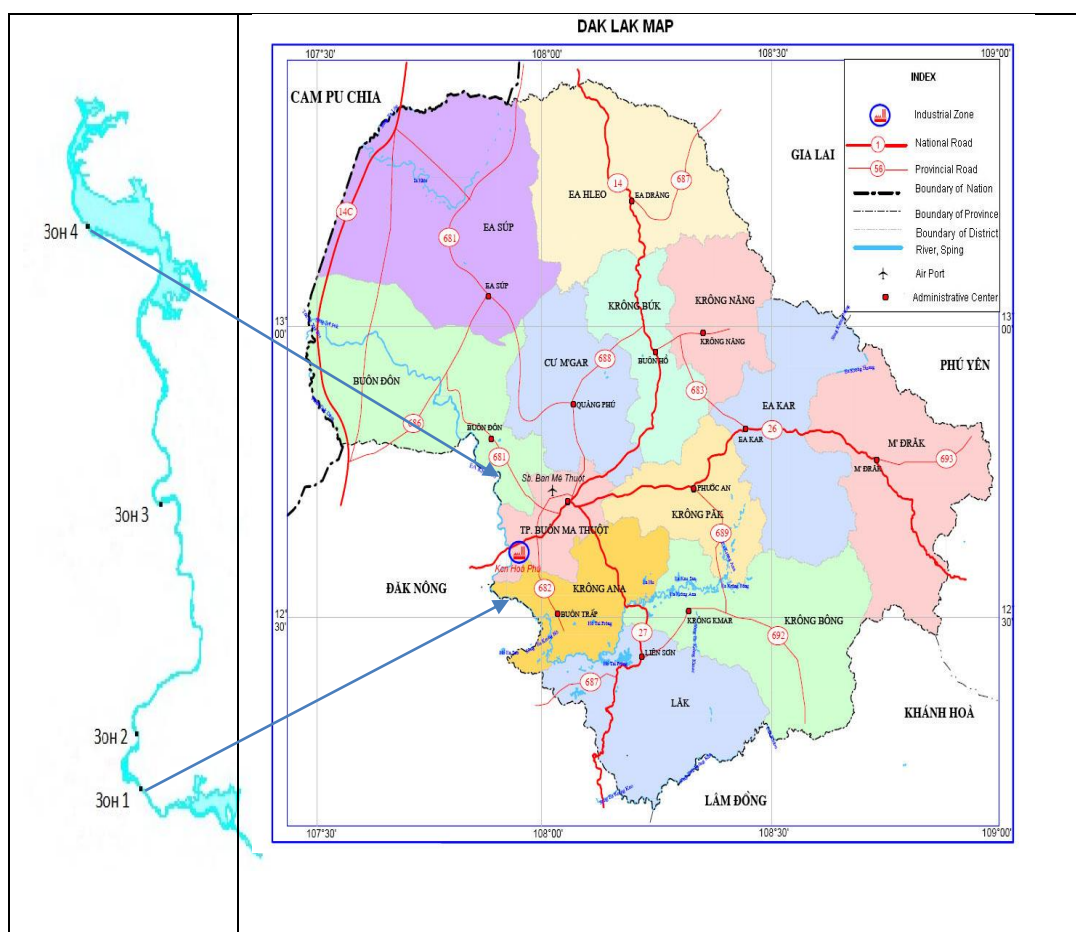
**Объекты исследования** - вода, донные отложения, прибрежные водные растения и гидробионты на четырех участках течения реки Шерепок, испытывающих различную техногенную нагрузку (рис.1):

1 – участок реки до промышленных зон; немного подвержен влиянию сточных вод от города;

2 – участок реки в пределах промышленных зон; подвержен влиянию сточных вод от промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг и влиянию сточных вод от города, поступающих через небольшие ручьи и дождевые стоки;

3 – участок после промышленных зон до ГЭС на водохранилище Дрей Хлин (расстояние от промышленных зон до ГЭС на водохранилище Дрей Хлин составляет 7,5 км); частично подвержен влиянию сточных вод от города и промышленных зон;

4 – участок после промышленных зон до ГЭС на водохранилище Дрей Хлин ГЭС на водохранилище Шерепок 3; находится в 17,4 км от промышленных зон ниже по течению р. Шерепок. Участок расположен далеко от промышленных зон и города, поэтому влияние сточных вод, поступающих из этих источников, незначительно.



**Рисунок 1** - Схема расположения исследуемых участков (зон) реки Шерепок на карте Вьетнама

Исследуемые в работе виды растений: тростник обыкновенный или южный (*Phragmites australis*); водяной гиацинт (*Eichhornia crassipes*). Исследуемые в работе виды гидробионтов: рыбы - сазан (*Cyprinus carpio*), тилапия нильская (*Oreochromis niloticus*) и хемибагрус (*Hemibagrus wyckioides*); золотая ампулярия (*Pomacea canaliculata*); пресноводный краб (*Somanniathelphusa sinensis*).

**Методы исследования.** Образцы воды, донных отложений, водных растений и гидробионтов отбирали в сезон дождей и сухой сезон в 4 этапа: этап 1 - 10/2015 (сезон дождей); этап 2 - 3/2016 (сухой сезон); этап 3 - 10/2016 (сезон дождей); этап 4 - 3/2017 (сухой сезон).

Отбор, хранение и подготовку проб к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб»; РД 52.24.609-2013 «Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов»; ГОСТ 17.1.5.01-80 «Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность», ГОСТ 27262-87 «Корма растительного происхождения. Методы отбора проб (распространяется на корма растительного происхождения - зеленые корма, сено, солому, силос, сенаж, травяные искусственно высушенные корма)»; МУК 3.2.988-00 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки».

Методы определения содержания взвешенных веществ, БПК<sub>5</sub>, ХПК, нитратов и фосфатов, растворенного кислорода: взвешенные вещества - стандартные методы исследования воды и сточных вод 2540.D:2012; фосфаты - стандартные методы исследования воды и сточных вод 4500.P.E:2012; нитраты - вьетнамский стандарт 6180:1996; PO - вьетнамский стандарт 7325: 2004; ХПК - стандартные методы исследования воды и сточных вод 5220.C:2012; БПК<sub>5</sub> - стандартные методы исследования воды и сточных вод 5210.B:2012.

Анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в пробах воды проводили атомно-абсорбционным методом по следующим стандартам: As - вьетнамскому стандарту 6626:2000; Pb и Cd - SMEWW 3113B:2012; Cu и Zn - вьетнамскому стандарту 6193:1996; Fe - SMEWW 3111.B:2012.

Анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в пробах донных отложений проводили атомно-абсорбционным методом по следующим стандартам: As - стандартными методами исследования донных отложений 3051A и вьетнамскому стандарту 6626:2000; Pb и Cd - стандартными методами исследования донных отложений 3051A и 3113B:2012; Cu и Zn - стандартными

методами исследования донных отложений 3051A и SMEWW 3111B:2012; Fe - стандартными методами исследования донных отложений 3051A и 3111.B:2012.

Анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в пробах растений и животных проводили атомно-абсорбционным методом по следующим стандартам: As - вьетнамскому стандарту 7601:2007; Pb, Cd, Cu, Zn и Fe - вьетнамскому стандарту 8126:2009.

Полученные данные обработаны с помощью программ Microsoft Excel 2010, SPSS и Statistica. Для сравнения различий между группами металлов по участкам, сезонам и местам отбора проб использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) в сочетании с тестом Tukey в случае равной дисперсии и тестом Tamhane's – в случае неравной дисперсии.

**В третьей главе «Оценка качества речной воды (р.Шерепок) по количеству взвешенных веществ, растворенного кислорода, нитратов, фосфатов, значениям БПК<sub>5</sub> и ХПК»** дан сравнительный анализ сезонной динамики основных показателей качества речной воды в зависимости от степени техногенной нагрузки.

Полученные результаты показывают, что вода исследуемых участков реки Шерепок не соответствует установленным во Вьетнаме нормативам качества речных вод – содержание многих загрязняющих веществ часто превышает допустимые пределы регламента QCVN 08-МТ:2015/ВТНМТ. При этом средняя концентрация взвешенных веществ в воде в сезон дождей в 3 раза выше, чем в сухой сезон (табл. 1). Что касается остальных показателей, то различия между их значениями между двумя сезонами не достоверны.

**Таблица 1** - Изменение качества воды р.Шерепок по сезонам года

<b>Показатель</b>	<b>Содержание в речной воде, мг/л, среднее за 2015-2017гг.</b>		<b>Нормативы качества Вьетнама<sup>1</sup></b>
	<i>Сухой сезон</i>	<i>Сезон дождей</i>	
Взвешенные вещества	55,9±7,6 <sup>b</sup>	19,1±5,8 <sup>a</sup>	Не более 20
Растворенный кислород	5,3±0,6 <sup>a</sup>	5,8±1,0 <sup>a</sup>	Не менее 6
Биохимическое потребление кислорода, БПК <sub>5</sub>	12,5±5,8 <sup>a</sup>	11,0±4,4 <sup>a</sup>	Не более 4
Химическое потребление кислорода, ХПК	15,7±6,5 <sup>a</sup>	15,2±5,9 <sup>a</sup>	Не более 5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,6±3,4 <sup>a</sup>	5,9±3,4 <sup>a</sup>	Не более 2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,29±0,17 <sup>a</sup>	0,19±0,11 <sup>a</sup>	Не более 0,1

*Примечание:* <sup>1</sup> - Регламент Вьетнама QCVN 08-МТ:2015/ВТНМТ; <sup>a,b</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.

Речная вода вблизи промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг, в целом имеет более высокие значения показателей взвешенных веществ, БПК<sub>5</sub>, ХПК, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, а количество растворенного кислорода там ниже, чем на остальных участках (табл. 2).

**Таблица 2** - Значения показателей качества воды реки Шерепок в зависимости от степени техногенной нагрузки

<i>Показатели</i>	<i>Содержание, мг/л</i>			
	<i>Участок 1</i>	<i>Участок 2</i>	<i>Участок 3</i>	<i>Участок 4</i>
Взвешенные вещества	36,3±13,3 <sup>ab</sup>	47,4±10,7 <sup>a</sup>	29,8±18,1 <sup>b</sup>	25,3±11,1 <sup>b</sup>
Растворенный кислород	6,1±0,6 <sup>ab</sup>	4,9±0,8 <sup>c</sup>	5,7±0,5 <sup>a</sup>	6,4±0,7 <sup>b</sup>
БПК <sub>5</sub>	6,4±1,9 <sup>a</sup>	17,2±6,8 <sup>b</sup>	9,2±2,4 <sup>c</sup>	6,3±1,3 <sup>a</sup>
ХПК	10,5± 2,8 <sup>a</sup>	21,9±3,3 <sup>b</sup>	13,0±2,4 <sup>c</sup>	7,8±1,4 <sup>d</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,7±2,1 <sup>a</sup>	9,8±2,2 <sup>b</sup>	5,2±2,6 <sup>a</sup>	3,7±1,9 <sup>c</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,16±0,06 <sup>ab</sup>	0,34±0,11 <sup>c</sup>	0,19±0,07 <sup>a</sup>	0,13±0,04 <sup>b</sup>

*Примечание:* <sup>a,b,c,d</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.

Результаты проведенных анализов позволяют сделать вывод о том, что деятельность двух промышленных зон в целом отрицательно влияет на качество воды проходящего мимо отрезка реки Шерепок.

**В четвертой главе «Содержание тяжелых металлов и мышьяка в воде и донных отложениях р.Шерепок»** проведена оценка уровней содержания ТМ и As в речной воде и донных отложениях, установлены закономерности их изменения по сезонам года и участкам протекания реки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что изменение содержания элементов в речной воде по сезонам не имеет определенной общей закономерности (табл. 3). Согласно национальному техническому регламенту по качеству поверхностных вод (QCVN 08-МТ:2015/ВТНМТ), концентрация всех исследуемых тяжелых металлов в воде р. Шерепок в сезон дождей превышает значения, приведенные в данном регламенте, при этом концентрация мышьяка находится на уровне ПДК.

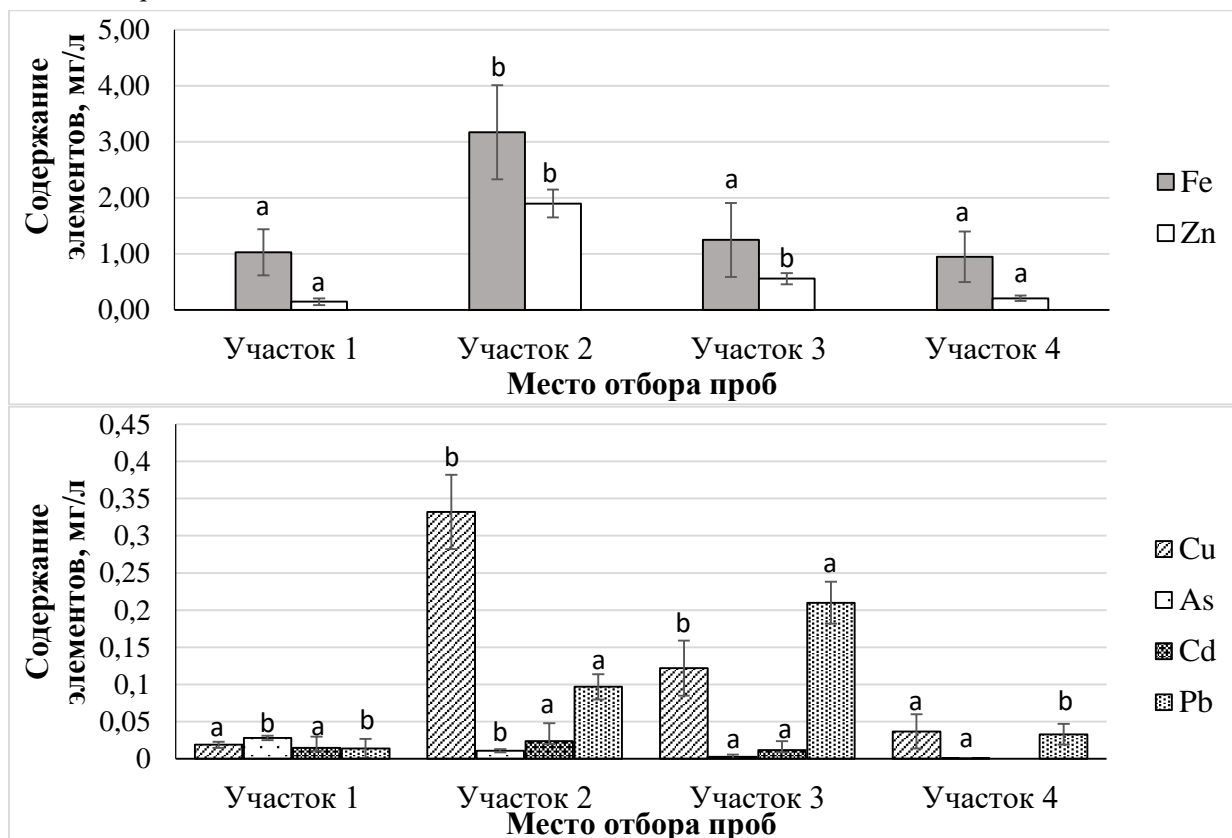
Концентрации тяжелых металлов и мышьяка в речной воде значительно изменяются в зависимости от того, насколько близко или далеко расположены отдельные участки реки от источников загрязнения, при этом отмечается общая

тенденция – значительное увеличение концентрация элементов в речной воде на участках реки 2 и 3 (промышленные зоны Хоа Фу и Там Тханг) (рис. 2).

**Таблица 3** - Концентрация тяжелых металлов и мышьяка в речной воде по сезонам года

Элемент	Содержание, мг/л среднее за 2015-2017гг.		ПДК, мг/л	
	Сухой сезон	Сезон дождей	Вьетнам <sup>1</sup> А1 - водные объекты рыбохозяйственного значения и других целей	Россия <sup>2</sup> Водные объекты рыбохозяйственного значения
Fe	0,310± 0,060 <sup>b</sup>	2,080 ± 0,380 <sup>a</sup>	0,5	0,1
Cu	0,066 ± 0,022 <sup>b</sup>	0,150 ± 0,039 <sup>a</sup>	0,1	0,001
Zn	0,434 ± 0,112 <sup>b</sup>	0,808 ± 0,118 <sup>a</sup>	0,5	0,01
As	0,014 ± 0,003 <sup>a</sup>	0,011 ± 0,002 <sup>a</sup>	0,01	0,05
Cd	0,023 ± 0,004 <sup>b</sup>	0,015 ± 0,003 <sup>a</sup>	0,005	0,005
Pb	0,020 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,114 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,02	0,006

Примечание: <sup>1</sup> - Регламент Вьетнама QCVN 08-МТ:2015/ВТНМТ; <sup>2</sup> - Приказ Министерства сельского хозяйства от 13.12.2016 г. №552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»; <sup>a,b</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.



**Рисунок 2** - Концентрация тяжелых металлов и мышьяка в воде р. Шерепок в зависимости от степени техногенной нагрузки

Результаты исследований показывают, что различия в содержании Fe, Cu, Zn, As и Pb в речных отложениях по сезонам статистически не значимы (табл. 4). При этом концентрация Cd в речных отложениях в сезон дождей выше, чем в сухой.

**Таблица 4** - Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях р. Шерепок по сезонам года

Элемент	Содержание, мг/кг; среднее за 2015-2017гг.		ПДК, мг/кг, Вьетнам <sup>1</sup>
	Сухой сезон	Сезон дождей	
Fe	3020 ± 60 <sup>a</sup>	2919 ± 107 <sup>a</sup>	-
Cu	61,4 ± 11,9 <sup>a</sup>	60,8 ± 12,5 <sup>a</sup>	197
Zn	171 ± 18 <sup>a</sup>	162 ± 13 <sup>a</sup>	315
As	3,54 ± 1,08 <sup>a</sup>	5,25 ± 1,31 <sup>a</sup>	17
Cd	0,27 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,99 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,5
Pb	44,5 ± 5,4 <sup>a</sup>	41,8 ± 4,1 <sup>a</sup>	91,3

Примечание: <sup>1</sup> - Регламент Вьетнама QCVN 43:2012/BTNMT; <sup>a,b</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.

В соответствии с национальным техническим регламентом по качеству отложений (QCVN 43:2012/BTNMT), концентрации почти всех изучаемых элементов (железо не включено в национальный регламент) в донных отложениях исследуемых участков лежат в допустимых пределах. Превышение нормы отмечено только по Zn на втором участке реки. Уровни содержания Cu, As, Cd, Pb в донных отложениях участков 2 и 3 лежат в допустимых пределах, но значительно выше, чем в других зонах.

**В пятой главе «Накопление тяжелых металлов и мышьяка прибрежной водной растительностью р.Шерепок»** рассмотрены закономерности накопления Tm и As двумя видами растений - тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) и водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*).

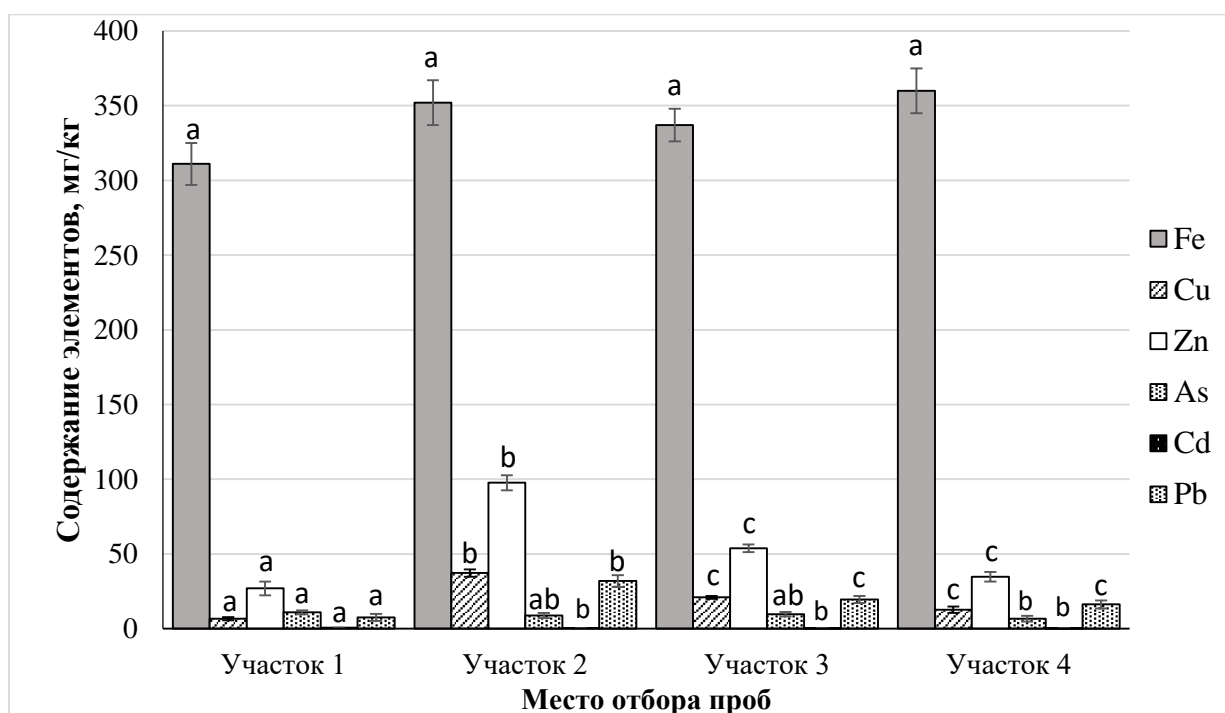
В результате проведенных исследований показано, что содержание Fe в стеблях и корнях тростника в сухой сезон выше, чем в сезон дождей. Для остальных элементов различия в их содержании по сезонам не выявлено. Содержание Fe в стеблях водяного гиацинта, в отличие от тростника, в сезон дождей выше, чем в сухой. При этом содержание As в стеблях и корнях водяного гиацинта несколько выше в сезон дождей. Разница в содержании других исследуемых элементов в органах водяного гиацинта, как и в стеблях и корнях тростника, по сезонам не достоверна (табл. 5).

**Таблица 5** - Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениях  
в зависимости от сезона года

Элемент	Орган	Содержание, мг/кг				МДУ, мг/кг Вьетнам <sup>1</sup> / Россия <sup>2</sup>
		Тростник обыкновенный ( <i>Phragmites australis</i> )		Водяной гиацинт ( <i>Eichhornia crassipes</i> )		
		Сезон дождей	Сухой сезон	Сезон дождей	Сухой сезон	
Fe	Стебли	158 ± 18 <sup>a</sup>	206 ± 20 <sup>b</sup>	306 ± 12 <sup>a</sup>	261 ± 10 <sup>b</sup>	-/100
	Корни	304 ± 16 <sup>a</sup>	381 ± 29 <sup>b</sup>	322 ± 13 <sup>a</sup>	319 ± 20 <sup>a</sup>	
Cu	Стебли	7,9 ± 1,5 <sup>a</sup>	8,2 ± 1,4 <sup>a</sup>	15,4 ± 1,6 <sup>a</sup>	12,7 ± 1,8 <sup>a</sup>	-/30
	Корни	20,2 ± 2,0 <sup>a</sup>	21,9 ± 1,9 <sup>a</sup>	32,1 ± 2,3 <sup>a</sup>	28,1 ± 2,1 <sup>a</sup>	
Zn	Стебли	27,1 ± 8,5 <sup>a</sup>	29,8 ± 10,4 <sup>a</sup>	35,5 ± 11,3 <sup>a</sup>	46,0 ± 10,0 <sup>a</sup>	-/50
	Корни	54,4 ± 14,4 <sup>a</sup>	61,1 ± 16,4 <sup>a</sup>	62,1 ± 32,5 <sup>a</sup>	68,5 ± 42,2 <sup>a</sup>	
As	Стебли	6,0 ± 1,1 <sup>a</sup>	4,9 ± 1,0 <sup>b</sup>	5,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,6 ± 0,4 <sup>b</sup>	2,0/0,5
	Корни	9,0 ± 1,8 <sup>a</sup>	9,4 ± 1,1 <sup>a</sup>	10,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	8,6 ± 0,4 <sup>b</sup>	
Cd	Стебли	0,16 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,13 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,12 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,5/0,3
	Корни	0,45 ± 0,13 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,18 <sup>a</sup>	0,51 ± 0,16 <sup>a</sup>	
Pb	Стебли	8,2 ± 1,7 <sup>a</sup>	8,6 ± 1,5 <sup>a</sup>	8,2 ± 1,7 <sup>a</sup>	9,1 ± 1,7 <sup>a</sup>	5/5
	Корни	19,3 ± 4,1 <sup>a</sup>	20,5 ± 3,4 <sup>a</sup>	16,2 ± 2,4 <sup>a</sup>	16,8 ± 1,5 <sup>a</sup>	

Примечание: <sup>1</sup> - Стандарт качества кормов для животных Вьетнама; <sup>2</sup> - Временный максимальный допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных – Приложение № 17 к СанПиН 2.1.7.573-96. 2.1.7; <sup>a,b</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениях изменяется в зависимости от уровня загрязнения реки (рис. 3). При этом прослеживается общая тенденция повышенного накопления изучаемых элементов корнями растений, что можно объяснить защитными функциями растительных организмов.



**Рисунок 3** - Изменение содержания тяжелых металлов и мышьяка в корнях тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) в зависимости от степени техногенной нагрузки

Следует отметить, что тростник и водяной гиацинт обычно используются во Вьетнаме в качестве корма для животных. Однако проведенными нами исследованиями установлено превышение уровней содержания As и Pb в растениях, допустимых вьетнамским стандартом качества кормов для животных (табл. 5), что дает основание рекомендовать не использовать тростник и водяной гиацинт из реки Шерепок в кормовых целях.

**В шестой главе «Оценка уровней содержания тяжелых металлов и мышьяка в гидробионтах р.Шерепок»** проведены изучение и анализ динамики содержания ТМ и As в различных видах гидробионтов – рыбах, улитках и крабах.

Для выявления закономерностей распределения тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Cd и Pb) и мышьяка по органам трех видов рыб их содержание определяли отдельно в мышцах, печени, жабрах и скелете в два сезона года (сухой сезон и сезон дождей). В таблице 6 приведены данные по содержанию элементов в сазане и тилапии. Так, в мышцах сазана различия в содержании Fe и Pb в период между влажным и сухим сезонами статистически не значимы, в то время как по остальным элементам эти различия достоверны. В печени же рыб наблюдается обратное явление – разница в содержании Fe и Pb между двумя сезонами года достоверна. Содержание Fe в печени во влажный сезон заметно выше, чем в сухой сезон, а Pb, наоборот, - в сухой сезон выше. Для большинства изученных элементов различий между содержаниями в жабрах сазана между двумя сезонами не выявлено. При этом для Fe и As характерно более высокое содержание в жабрах рыб во влажный сезон. Подобная зависимость отмечается и по содержанию Fe, Cu, As в скелете сазана.

При этом следует отметить, что в большинстве случаев содержание ТМ и мышьяка в рыбах превышает установленные нормативы.

В таблице 7 и на рисунках 4 и 5 представлены данные, иллюстрирующие закономерности распределения изучаемых элементов по органам рыб (мышцам и печени), используемых человеком в пищу, и уровни их накопления в тканях пресноводной улитки и пресноводного краба в зависимости от степени загрязнения реки Шерепок. Максимальные количества всех тяжелых металлов и мышьяка отмечены в печени всех видов рыб – сазана, хемибагруса и тилапии нильской, при этом больше всего токсических веществ накапливается в печени рыб, выловленных на загрязненных участках реки. Так, на участке реки, проходящем через промышленные зоны, содержание меди в печени рыб превышает их содержание в незагрязненных районах примерно в 5-10 раз. Уровни



содержания Fe, Cu, Zn, As, Cd и Pb в тканях улитки и краба близки к содержанию данных элементов в мышцах рыб.

**Таблица 6** - Содержание тяжелых металлов и мышьяка в рыбах по сезонам года

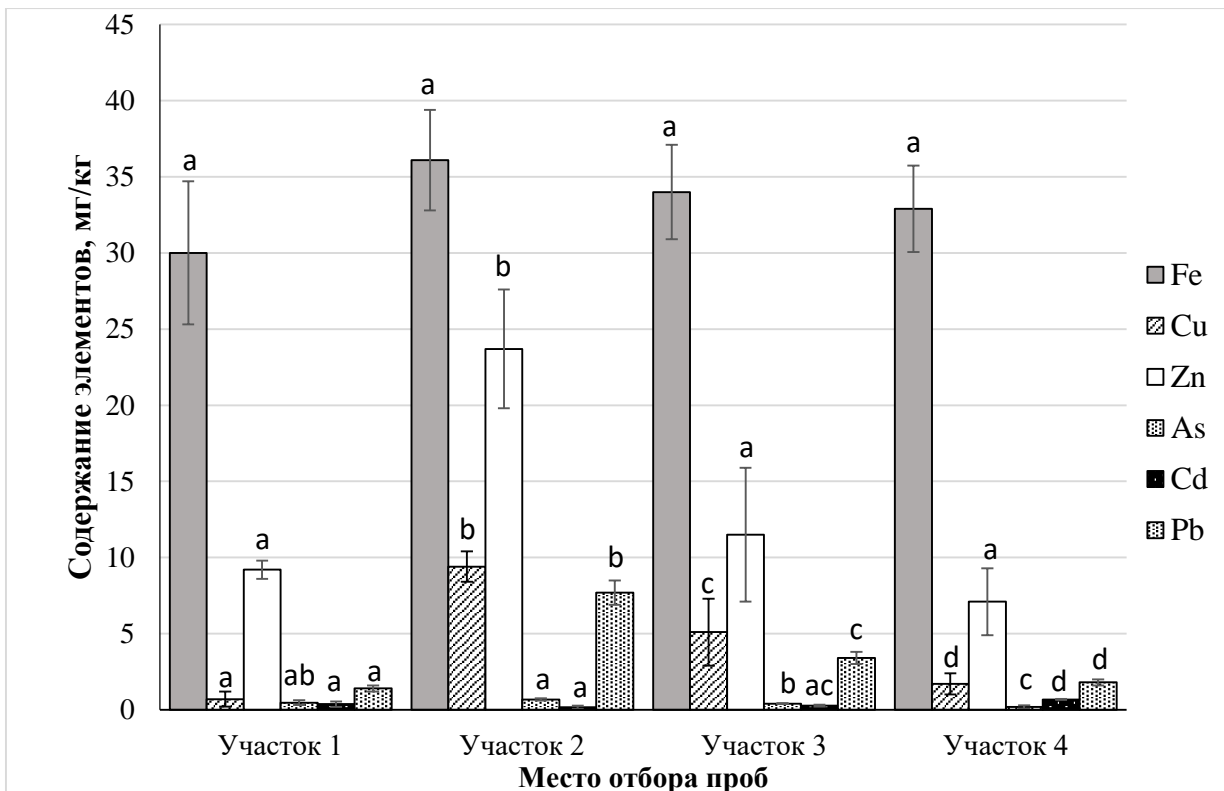
Элемент	Орган	Содержание, мг/кг				Допустимые уровни, мг/кг, не больше	
		Сазан ( <i>Cyprinus carpio</i> )		Тиляпия ( <i>Oreochromis niloticus</i> )		Вьетнам <sup>1</sup>	Россия <sup>2</sup>
		Сезон дождей	Сухой сезон	Сезон дождей	Сухой сезон		
Fe	Мышцы	44,5±3,5 <sup>a</sup>	42,2±3,1 <sup>a</sup>	41,7±2,1 <sup>a</sup>	32,3±3,6 <sup>b</sup>	-	-
	Печень	173,7±10,5 <sup>a</sup>	125,9±10,6 <sup>b</sup>	163,6±10,0 <sup>a</sup>	152,4±8,2 <sup>a</sup>	-	
	Жабры	145,3±8,97 <sup>a</sup>	125,8±11,6 <sup>b</sup>	116,4±9,0 <sup>a</sup>	113,9±7,1 <sup>a</sup>	-	
	Скелет	137,6±7,2 <sup>a</sup>	110,2±6,3 <sup>b</sup>	115,9±9,3 <sup>a</sup>	78,8±10,9 <sup>b</sup>	-	
Cu	Мышцы	2,9±1,0 <sup>a</sup>	3,7±0,9 <sup>b</sup>	2,6±0,7 <sup>a</sup>	2,8±0,8 <sup>a</sup>	-	-
	Печень	16,9±1,8 <sup>a</sup>	12,0±1,6 <sup>a</sup>	30,5±4,7 <sup>a</sup>	22,1±4,3 <sup>a</sup>	-	
	Жабры	8,7±1,3 <sup>a</sup>	6,9±0,9 <sup>a</sup>	10,1±2,9 <sup>a</sup>	7,3±2,2 <sup>a</sup>	-	
	Скелет	14,2±1,6 <sup>a</sup>	5,71±2,15 <sup>b</sup>	19,8±1,9 <sup>a</sup>	6,0±1,1 <sup>b</sup>	-	
Zn	Мышцы	8,9±1,2 <sup>a</sup>	16,2±2,3 <sup>b</sup>	7,9±2,4 <sup>a</sup>	7,8±2,9 <sup>a</sup>	-	-
	Печень	58,2±3,9 <sup>a</sup>	51,2±4,1 <sup>a</sup>	51,1±5,3 <sup>a</sup>	35,8±4,0 <sup>b</sup>		
	Жабры	76,4±8,3 <sup>a</sup>	61,1±8,1 <sup>a</sup>	46,3±7,6 <sup>a</sup>	26,2±4,4 <sup>b</sup>		
	Скелет	37,5±5,8 <sup>a</sup>	27,7±6,3 <sup>a</sup>	14,8±2,5 <sup>a</sup>	13,2±3,2 <sup>a</sup>		
As	Мышцы	0,32±0,10 <sup>a</sup>	0,66±0,12 <sup>b</sup>	0,36±0,17 <sup>a</sup>	0,40±0,11 <sup>a</sup>	-	1,0
	Печень	1,38±0,17 <sup>a</sup>	1,27±0,16 <sup>a</sup>	1,72±0,25 <sup>a</sup>	1,49±0,16 <sup>a</sup>	-	
	Жабры	2,03±0,13 <sup>a</sup>	1,26±0,15 <sup>b</sup>	0,57±0,21 <sup>a</sup>	0,57±0,21 <sup>a</sup>	-	
	Скелет	1,69±0,20 <sup>a</sup>	0,65±0,14 <sup>b</sup>	1,00±0,22 <sup>a</sup>	0,47±0,11 <sup>b</sup>	-	
Cd	Мышцы	0,28±0,04 <sup>a</sup>	0,37±0,05 <sup>b</sup>	0,16±0,03 <sup>a</sup>	0,28±0,02 <sup>b</sup>	0,05	0,2 (рыба) 0,7 (печень рыб и продукты из нее)
	Печень	0,56±0,11 <sup>a</sup>	0,62±0,14 <sup>a</sup>	0,43±0,12 <sup>a</sup>	0,47±0,17 <sup>a</sup>	0,05	
	Жабры	0,65±0,14 <sup>a</sup>	0,56±0,12 <sup>a</sup>	0,38±0,04 <sup>a</sup>	0,18±0,06 <sup>b</sup>	0,05	
	Скелет	0,35±0,07 <sup>a</sup>	0,37±0,08 <sup>a</sup>	0,34±0,06 <sup>a</sup>	0,13±0,05 <sup>b</sup>	0,05	
Pb	Мышцы	6,6±1,3 <sup>a</sup>	4,9±2,3 <sup>a</sup>	7,2±1,3 <sup>a</sup>	5,4±2,1 <sup>a</sup>	0,3	1,0
	Печень	9,7±1,2 <sup>a</sup>	13,9±1,6 <sup>a</sup>	17,6±2,1 <sup>a</sup>	19,4±2,3 <sup>a</sup>	0,3	
	Жабры	10,3±1,7 <sup>a</sup>	12,5±1,9 <sup>b</sup>	11,8±2,9 <sup>a</sup>	15,0±1,8 <sup>a</sup>	-	
	Скелет	8,5±1,1 <sup>a</sup>	7,3±1,2 <sup>a</sup>	11,3±2,3 <sup>a</sup>	8,2±2,3 <sup>a</sup>	-	

Примечание: <sup>1</sup> - Допустимые уровни содержания элементов в продуктах питания по Регламенту Вьетнама; <sup>2</sup> - Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01; <sup>a,b</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.

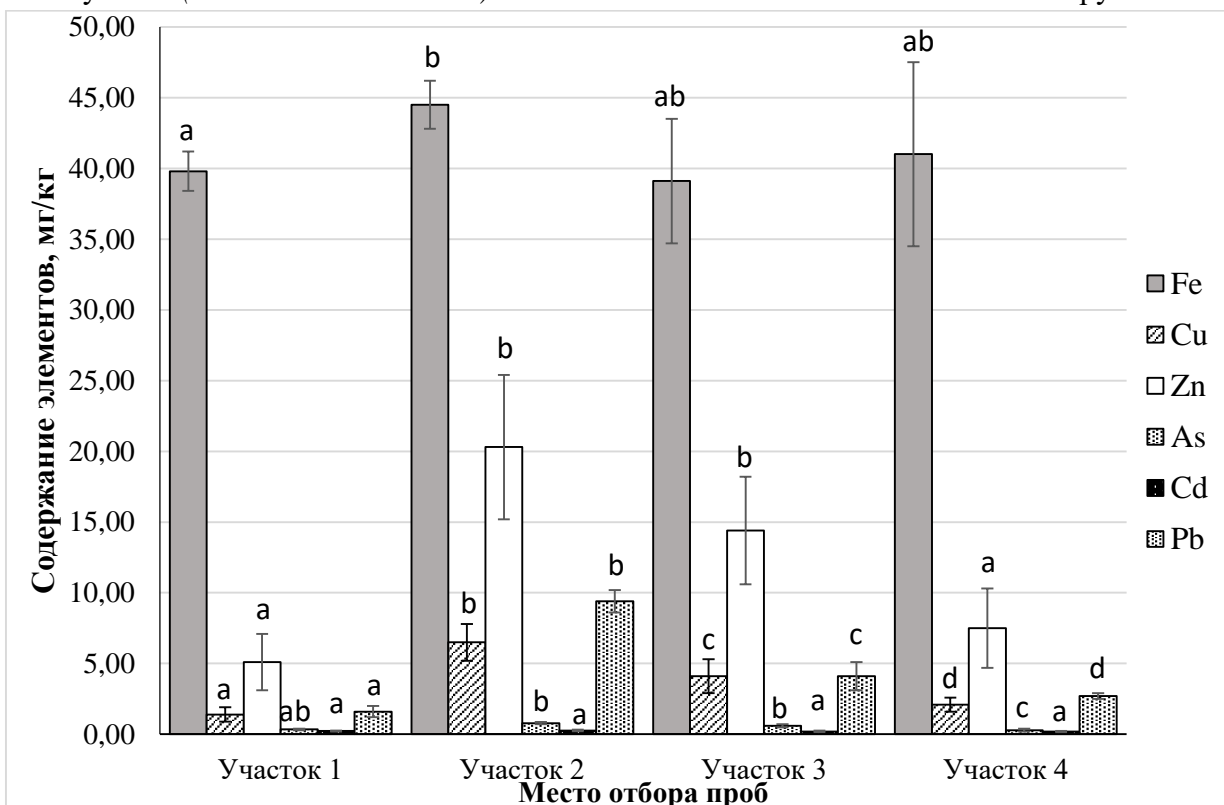
**Таблица 7 - Содержание тяжелых металлов и мышьяка в разных видах гидробионтов реки Шерепок в зависимости от техногенной нагрузки**

Гидробионты		Содержание, мг/кг			
		Участок 1		Участок 2	
		Fe		Cu	
Сазан ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Мышцы Печень	39,0±5,8 <sup>a</sup>	47,5±4,5 <sup>a</sup>	2,4±0,3 <sup>a</sup>	3,5±0,2 <sup>b</sup>
		130,2±4,2 <sup>a</sup>	173,2±12,2 <sup>b</sup>	4,6±0,5 <sup>a</sup>	30,2±1,0 <sup>b</sup>
Хемибагрус ( <i>Hemibagrus wuskioides</i> )	Мышцы Печень	39,5±5,3 <sup>a</sup>	44,7±6,1 <sup>a</sup>	1,0±0,6 <sup>a</sup>	3,4±0,4 <sup>b</sup>
		124,3±9,4 <sup>a</sup>	125,5±3,3 <sup>a</sup>	4,9±1,2 <sup>a</sup>	39,5±1,3 <sup>b</sup>
Тиляпия ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Мышцы Печень	35,2±6,4 <sup>a</sup>	39,3±5,8 <sup>a</sup>	2,0±0,6 <sup>a</sup>	4,2±0,4 <sup>b</sup>
		129,2±10,4 <sup>a</sup>	164,5±4,5 <sup>b</sup>	4,5±0,9 <sup>a</sup>	52,8±2,5 <sup>b</sup>
Пресноводная улитка ( <i>Potamocorbula asinaria</i> )		30,0±4,7 <sup>a</sup>	36,1±3,3 <sup>a</sup>	0,7±0,5 <sup>a</sup>	9,4±1,0 <sup>b</sup>
Пресноводный краб ( <i>Somanniathelphusa sinensis</i> )		39,8±1,4 <sup>a</sup>	44,5±1,7 <sup>b</sup>	1,4±0,5 <sup>a</sup>	6,5±1,3 <sup>b</sup>
		Zn		As	
Сазан ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Мышцы Печень	5,9±1,4 <sup>a</sup>	16,7±2,0 <sup>b</sup>	0,35±0,06 <sup>a</sup>	0,54±0,06 <sup>a</sup>
		14,3±3,7 <sup>a</sup>	92,8±5,6 <sup>b</sup>	1,39±0,08 <sup>a</sup>	2,12±0,08 <sup>b</sup>
Хемибагрус ( <i>Hemibagrus wuskioides</i> )	Мышцы Печень	5,9±1,1 <sup>a</sup>	13,4±1,9 <sup>b</sup>	0,47±0,16 <sup>a</sup>	0,52±0,03 <sup>a</sup>
		10,1±1,1 <sup>a</sup>	78,7±8,4 <sup>b</sup>	1,08±0,26 <sup>a</sup>	2,46±0,15 <sup>b</sup>
Тиляпия ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Мышцы Печень	4,8±1,0 <sup>a</sup>	12,2±2,2 <sup>b</sup>	0,39±0,09 <sup>a</sup>	0,60±0,09 <sup>b</sup>
		19,4±3,4 <sup>a</sup>	72,60±5,02 <sup>b</sup>	2,21±0,21 <sup>a</sup>	1,70±0,35 <sup>a</sup>
Пресноводная улитка ( <i>Potamocorbula asinaria</i> )		7,1±0,6 <sup>a</sup>	23,7±3,9 <sup>b</sup>	0,47±0,15 <sup>a</sup>	0,68±0,07 <sup>a</sup>
Пресноводный краб ( <i>Somanniathelphusa sinensis</i> )		5,1±2,0 <sup>a</sup>	20,3±5,1 <sup>b</sup>	0,34±0,05 <sup>a</sup>	0,78±0,08 <sup>a</sup>
		Cd		Pb	
Сазан ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Мышцы Печень	0,36±0,06 <sup>a</sup>	0,33±0,05 <sup>a</sup>	2,7±0,2 <sup>a</sup>	9,7±0,6 <sup>b</sup>
		0,66±0,05 <sup>a</sup>	0,64±0,06 <sup>a</sup>	3,7±0,5 <sup>a</sup>	17,5±1,1 <sup>b</sup>
Хемибагрус ( <i>Hemibagrus wuskioides</i> )	Мышцы Печень	0,18±0,07 <sup>a</sup>	0,17±0,03 <sup>a</sup>	4,1±0,9 <sup>a</sup>	13,5±2,6 <sup>b</sup>
		0,72±0,07 <sup>a</sup>	0,63±0,08 <sup>a</sup>	7,1±2,9 <sup>a</sup>	27,0±3,9 <sup>b</sup>
Тиляпия ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Мышцы Печень	0,26±0,18 <sup>a</sup>	0,21±0,07 <sup>a</sup>	2,2±0,3 <sup>a</sup>	11,6±1,0 <sup>b</sup>
		0,51±0,07 <sup>a</sup>	0,48±0,12 <sup>a</sup>	3,4±1,1 <sup>a</sup>	30,5±1,5 <sup>b</sup>
Пресноводная улитка ( <i>Potamocorbula asinaria</i> )		0,37±0,18 <sup>a</sup>	0,68±0,11 <sup>b</sup>	1,4±0,2 <sup>a</sup>	7,7±0,8 <sup>b</sup>
Пресноводный краб ( <i>Somanniathelphusa sinensis</i> )		0,23±0,04 <sup>a</sup>	0,27±0,06 <sup>b</sup>	1,6±0,4 <sup>a</sup>	9,4±0,8 <sup>b</sup>

Примечание: <sup>a,b</sup> - если в одной строке приведенные значения концентраций имеют разные буквы, то различия между ними статистически значимы при  $p < 0,05$ , а если буквы совпадают, то статистически значимых различий нет.



**Рисунок 4** - Изменение содержания тяжелых металлов и мышьяка в пресноводной улитке (*Potamocorbula amurensis*) в зависимости от степени техногенной нагрузки



**Рисунок 5** - Изменение содержания тяжелых металлов и мышьяка в пресноводном крабе (*Somanniathelphusa sinensis*) в зависимости от степени техногенной нагрузки

Анализ результатов исследования гидробионтов реки Шерепок позволяет сделать вывод о том, что максимальные значения содержания тяжелых металлов

(Fe, Cu, Zn, Cd и Pb) и мышьяка отмечались в органах рыб, выловленных в границах промышленных районов. Наибольшее количество данных элементов накапливается в печени и жабрах рыб, наименьшее – в мышцах. При этом уровни накопления ТМ и мышьяка в улитке и крабе примерно соответствуют накоплению в мышцах рыб. По сравнению с гидробионтами, выловленными на втором участке, в гидробионтах, выловленных на четвертом участке, содержание всех исследуемых тяжелых металлов и мышьяка уменьшилось и практически сравнялось с их количеством в гидробионтах, выловленных на первом, незагрязненном участке реки. По содержанию изучаемых элементов в органах исследованных видов рыб, выловленных в границах промышленных районов, можно построить следующие ряды:

➤ Сазан (*Cyprinus carpio*): Fe – печень > жабры > скелет > мышцы; Cu – печень > скелет > жабры > мышцы; Zn – жабры > печень > скелет > мышцы; As – жабры > печень > скелет > мышцы; Cd – жабры > печень > скелет > мышцы; Pb – печень > жабры > скелет > мышцы;

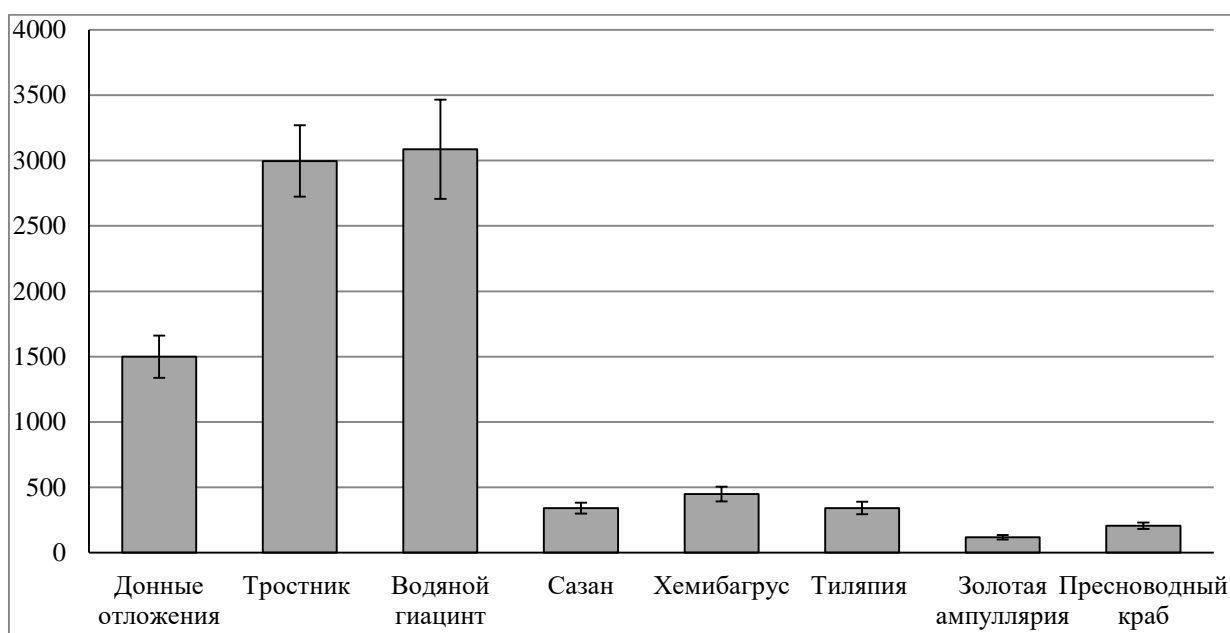
➤ Хемибагрус (*Hemibagrus wyckiioides*): Fe – печень > скелет > жабры > мышцы; Cu – печень > скелет > мышцы >> жабры; Zn – печень > скелет > жабры > мышцы; As – скелет ~ печень > мышцы > жабры; Cd – скелет ~ печень > жабры > мышцы; Pb – печень > мышцы > жабры > скелет;

➤ Тиляпия нильская (*Oreochromis niloticus*): Fe – печень > скелет ~ жабры > мышцы; Cu – печень > скелет > жабры > мышцы; Zn – печень > жабры > скелет > мышцы; As – печень > скелет > жабры ~ мышцы; Cd – печень > жабры > скелет > мышцы; Pb – печень > жабры > скелет > мышцы.

**В седьмой главе «Закономерности распределения тяжелых металлов и мышьяка в системе: «Вода - донные отложения - водная прибрежная растительность - гидробионты» р. Шерепок в зависимости от уровня техногенной нагрузки» для сравнительной оценки накопления ТМ и As в различных компонентах речных экосистем рассчитаны коэффициенты накопления данных элементов в донных отложениях, двух видах прибрежной растительности и пяти видах гидробионтов.**

Полученный диапазон значений коэффициентов накопления исследуемых элементов показывает, что максимальное содержание Fe, Cu, Zn, Cd и Pb при загрязнении характерно для донных отложений, при этом наивысшие значения коэффициентов накопления As, в отличие от всех изученных элементов,

характерны для прибрежной водной растительности (тростника обыкновенного и водяного гиацинта) (рис.6).



**Рисунок 6** - Коэффициенты накопления As в компонентах реки Шерепок

## ВЫВОДЫ

1. Проведенными исследованиями установлено, что качество воды реки Шерепок, протекающей вблизи промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг, в целом не соответствует нормативам, принятым во Вьетнаме (Регламент Вьетнама QCVN 08-MT:2015/BTNMT), по таким показателям как БПК<sub>5</sub>, ХПК, содержание взвешенных веществ, растворенного кислорода, нитратов, фосфатов. При этом статистически значимые различия по сезонам года (сезон дождей и сухой сезон) отмечены только для содержания взвешенных веществ - в сезон дождей их количество ниже, чем в сухой сезон примерно в 2,5-3 раза. Для других вышеперечисленных показателей достоверных различий по сезонам года не выявлено.

2. За исследуемый период времени (2015-2017 гг.) в воде на участках реки, расположенных в промышленно развитых зонах Хоа Фу и Там Тханг, выявлено значительное превышение концентраций тяжелых металлов и мышьяка рекомендуемых национальным техническим регламентом QCVN 08 : 2015/BTNMT значений: Fe – в 2,3–9,5 раза; Cu – в 1,2–2,8 раз; Zn – в 1,2–4,5 раза; As – в 1,1–3,7 раза; Cd – в 1,7–6,8 раза; Pb – в 1,1–17 раз. При этом концентрация Fe, Cu и Pb в воде в сезон дождей выше, чем в сухой сезон, а концентрация Cd, наоборот, в сезон дождей ниже, чем в сухой сезон.

3. Изучение концентраций тяжелых металлов и мышьяка в речной воде в зависимости от места отбора проб показало, что различия в концентрациях исследуемых элементов у берега провинции Дак Лак, в середине реки и у берега провинции Дак Нонг не достоверны, то есть изучаемые элементы в водном потоке распределяются относительно равномерно. Это можно объяснить как схожестью обоих берегов реки по естественным и экономическим условиям (на обоих берегах есть промышленные зоны и довольно сходные структуры сельскохозяйственного производства), так и сильным перемешиванием воды в речном потоке.

4. В результате проведенных исследований показано, что изменение содержания Fe, Cu, Zn, As, Pb в донных отложениях по сезонам не достоверно. Количество Cd в донных отложениях в сезон дождей выше, чем в сухой сезон. При этом уровни содержания исследуемых тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях реки в районе расположения промышленных зон значительно выше, чем в донных отложениях фоновых территорий. Исследуемые элементы образуют группы, в которых их концентрации тесно взаимосвязаны: в речной воде это Fe, Cu, Zn и Pb; в донных отложениях – Cu, Zn, As и Pb.

5. Выявлена общая для всех исследованных участков протекания реки Шерепок закономерность распределения Fe, Cu, Zn, As, Cd и Pb по органам двух видов водных прибрежных растений - корни водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) и тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) накапливают тяжелые металлы и мышьяк в значительно больших количествах, чем стебли. Содержание Fe в стеблях и корнях тростника в сухой сезон выше, чем в сезон дождей. Содержание же As в стеблях выше в сезон дождей. Содержание Fe в стеблях водяного гиацинта, в отличие от тростника, в сезон дождей выше, чем в сухой сезон. Для остальных элементов различие в их содержании в стеблях и корнях тростника и водяного гиацинта по сезонам не имеет статистической значимости.

6. Анализ результатов исследования гидробионтов реки Шерепок позволяет сделать вывод о том, что максимальные значения содержания тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Cd и Pb) и мышьяка характерны для рыб (*Cyprinus carpio*, *Hemibagrus wyckioides*, *Oreochromis niloticus*), выловленных в границах промышленных районов. Наибольшее количество данных элементов накапливается в печени и жабрах рыб, наименьшее – в мышцах. При этом уровни накопления ТМ и мышьяка в улитке (*Pomacea canaliculata*) и крабе (*Somanniathelphusa sinensis*) примерно соответствуют накоплению в мышцах рыб.

7. Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что максимальное количество железа, меди и свинца накапливается в печени всех исследованных видов рыб (*Cyprinus carpio*, *Hemibagrus wyckiioides*, *Oreochromis niloticus*), выловленных в пределах промышленных зон Хоа Фу и Там Тханг; цинка – в жабрах сазана, печени хемибагруса и тилапии; мышьяка – в жабрах сазана, скелете и печени хемибагруса, печени тилапии; кадмия – в жабрах сазана, скелете и печени хемибагруса, печени тилапии.

8. Анализ проведенного расчета коэффициентов накопления тяжелых металлов и мышьяка в абиотических и биотических компонентах речных экосистем - в донных отложениях, растительности и гидробионтах реки Шерепок позволяет выявить следующие закономерности:

- Максимальное накопление Fe, Cu, Zn, Cd и Pd при загрязнении происходит в донных отложениях;

- Наиболее высокие значения коэффициентов накопления As, в отличие от всех изученных элементов, характерны для прибрежной водной растительности (тростника обыкновенного и гиацинта водяного);

- Исследуемые элементы по значениям коэффициента накопления можно расположить в следующие убывающие ряды:

- донные отложения: Zn >> Cu ~ As ~ Pb > Zn >> Cd;

- водные растения (корни+листья): As >> Fe ~ Cu ~ Pb > Zn > Cd;

- рыбы: As ≥ Cu > Pb > Fe ≥ Zn > Cd;

- улитки и крабы: As ≥ Cu > Pb > Fe ≥ Zn > Cd.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

**В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Нго, Т.К. Накопление тяжелых металлов прибрежной водной растительностью реки Шерепок / Т.К. Нго, С.В. Золотокопова. // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2017. - Т.25. - № 4. – С. 510-519 (DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-510-519).

2. Золотокопова, С.В. Влияние экологического состояния реки Шерепок (Вьетнам) на содержание тяжелых металлов в органах рыб / С.В. Золотокопова, Т.К. Нго, Х.К. Чан // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». – 2017. - №3. – С. 98-105 (DOI: 10.24143/2073-5529-2017-3-98-105).

3. Chernykh, N. A. The Regularities of Heavy Metals and Arsenic Accumulation in the Vegetation of Riverside Depending on the Level of Technogenic Load / N.A. Chernykh, T. C. Ngo, H.Q. Tran, Y.I. Baeva, V.A. Grachev // J. Pharm. Sci. & Res. – 2018. -Vol. 10(4). - P.

800-804.

4. Золотокопова, С. В. Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в мышцах гидробионтов реки Шерепок (Вьетнам) / С.В. Золотокопова, Х.К.Чан, **Т.К. Нго** // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». – 2018. - №1. – С. 118-123 (DOI: 10.24143/2073-5529-2018-1-118-123).

**В других изданиях:**

5. Чан, Х.К. Экология России: на пути к инновациям / Х.К. Чан, И.В. Мельник, **Т.К. Нго** // Межвузовский сборник научных трудов. Астрахань, 2011. – Вып. 4. - С. 100-103.

6. Чан, Х.К. Современные проблемы биологических исследований в Западной Сибири и на сопредельных территориях / Х.К. Чан, И.В. Мельник, **Т.К. Нго** // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 15-летию биологического факультета Сургутского государственного университета, 2-4 июня 2011 г. – Сургут, 2011 - С. 274-276.

7. Золотокопова, С.В. Пути накопления тяжелых металлов в абиотических компонентах реки Шерепок / С.В. Золотокопова, **Т.К. Нго** // Материалы международной научной конференции научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета (60-НПП). – Астрахань, 2016. – С. 55-60.

8. **Нго, Т. К.** Роль бионакопления в самоочищении водоемов от соединений мышьяка. - Научный альманах, 2017. - № 8-1(34). – С.179 (DOI: 10.17117/na.2017.08.01.179).

9. Золотокопова, С. В. Анализ содержания цинка в речной воде, донных отложениях и гидробионтах реки Шерепок (Вьетнам) / С.В. Золотокопова, **Т.К. Нго** // Материалы международной научной конференции научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета (61-НПП). – Астрахань, 2017. – С. 55-57.

10. Золотокопова, С.В. Влияние промышленного производства на экологическое состояние реки Шерепок (Вьетнам) / С.В. Золотокопова, **Т.К. Нго** // Вестник научных конференций – Тамбов, 2017. – № 4. Ч.1. - С. 60-61.

11. **Ngo, T. C.** Assessment of water quality of Serepok river by some basic parameters / T.C. Ngo, T.Q. Tran, T. M. Nguyen // Vietnam Journal of Science for Rural Development, 2018. - Vol 37-38. P. 71-77.

12. Черных, Н.А. Тяжелые металлы и мышьяк а прибрежной водной растительности Вьетнама (на примере реки Шерепок) / Н.А.Черных, **Т.С. Нго**, Ю.И. Баева // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды». – Челябинск, 2018 (в печати).

13. Черных, Н.А. Особенности сезонного накопления тяжелых металлов и мышьяка гидробионтами реки Шерепок (Вьетнам) в условиях техногенного загрязнения / Н.А.Черных, **Т.С. Нго**, Ю.И. Баева // Материалы I-го Всероссийского экологического форума им. проф. Б.С. Кубанцева. – Волгоград, 2018 (в печати).

14. Черных, Н.А. Тяжелые металлы и мышьяк в системе: «Вода - донные отложения - растительность - гидробионты» реки Шерепок (Вьетнам) / Н.А.Черных, **Т.С. Нго** // Материалы XIX Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы экологии и природопользования (РУДН)". - Москва, 2018 (в печати).



Нго Тхе Кьонг (Социалистическая Республика Вьетнам)  
**Содержание и закономерности распределения тяжелых металлов  
и мышьяка в речных экосистемах промышленно развитых районов  
Вьетнама  
(на примере р. Шерепок, провинция Даклак)**

Проведена оценка сезонной динамики содержания тяжелых металлов и мышьяка в компонентах экосистем реки Шерепок, протекающей по территории с различной степенью загрязнения. Изучено качество речной воды в районах с разным уровнем промышленного развития. Определено содержание загрязняющих веществ в воде и донных отложениях в зависимости от сезона года (сухой сезон и сезон дождей). Установлены уровни накопления ТМ и As прибрежной водной растительностью и гидробионтами в зависимости от степени техногенной нагрузки. Выявлены различия в накоплении химических элементов разными видами гидробинтов - сазаном (*Cyprinus carpio*), нильской тиляпией (*Oreochromis niloticus*), хемибагрусом (*Hemibagrus wyckioides*), пресноводной улиткой (*Pomacea canaliculata*) и пресноводным крабом (*Somanniathelphusa sinensis*). Получены закономерности распределения тяжелых металлов и мышьяка по органам различных видов рыб. Определен характер распределения тяжелых металлов и мышьяка в системе: «вода-донные отложения-водная прибрежная растительность -гидробионты».

**Ngo The Cuong (Vietnam)**

**Content and regularities of heavy metals and arsenic  
distribution in river ecosystems of Vietnam industrially developed regions  
(on the example of the Sherepok river, Daklak province)**

The seasonal dynamics of the heavy metals and arsenic content in the components of the Sherepok River ecosystems flowing through the territory with various degrees of pollution was estimated. The quality of river water in areas with different levels of industrial development has been studied. The content of pollutants in water and bottom sediments is determined depending on the season of the year (dry season and rainy season). The levels of accumulation of HM and As by coastal water vegetation and hydrobionts are determined depending on the degree of man-caused loading. Differences in the accumulation of chemical elements by different species of hydrobionts - *Cyprinus carpio*, *Oreochromis niloticus*, *Hemibagrus wyckioides*, *Pomacea canaliculata* and *Somanniathelphusa sinensis* have been revealed. Regularities in the distribution of heavy metals and arsenic in the organs of various fish species have been obtained. The distribution of heavy metals and arsenic in the system is determined: "water-bottom sediments-aquatic coastal vegetation-hydrobionts".